# 原子能

第4卷　第2期

1959

中国物理学会编輯
科学出版社出版

# 目　　録

## 論　　文



## 給編輯部的信



## 科技新聞



## 書刊介紹

# 設計小体积屏蔽体的物理与工程問題

庫赫捷維奇(В. И. Кухтевич)　奇賓 (С. Г. Цыпин)

在这篇評論文章中，討論了用于运輸設备的核反应堆的小体积屏蔽体的設計問題．討論了設計小体积屏蔽体时所遇到的物理問題（核反应堆的輻射、γ 射綫与中子在屏蔽层中的穿透、俘获 γ 射綫的形成与穿透、阴影屏蔽）与工程問題（屏蔽体的布置、材料的选择、屏蔽体中各层最合理的安排）．

确定具有核发动机的运輸設备活动力的主要标准之一是設备的重量与它功率的比．当然这一比值愈小愈好．而降低核发动机的重量就可以減小这一比值．由于发动机的大部分重量是在輻射的屏蔽体上，所以屏蔽体的設計就引起了人們的重視．可是，由于輻射穿过屏蔽体时发生大量复杂的过程，要准确計算核反应堆的屏蔽是非常困难的問題．这些过程是：輻射的多次散射，輻射从介質分界处的反射，輻射能譜的改变，一种介質对其他介質的影响与几何形状的复杂性．应該指出，中子与物質的有些基本相互作用过程，仍研究得很不完全．此外，在使許多工程問題与核物理的要求协調起来时发生了巨大的困难．

## 物　理　問　題

**輻射源**　在核反应堆的各种輻射中，中子与 γ 輻射具有最大的貫穿本領．中子与 γ 射綫的能量范围分布得很广，中子一直到 18 兆电子伏，γ 射綫直到 10—11 兆电子伏．

核燃料裂变时所形成的中子可分为两个基本組：瞬发的与緩发的．

占全部中子 99% 以上的瞬发中子，发生在裂变的时刻．这些中子的能譜可用已知的半經驗公式表示．各种可分裂物質一次裂变所放出的平均瞬发中子数在 2.5—3 間涨落．

緩发中子是在裂变产物衰变时形成的．可是由于它們的量較少（小于 1%），而且平均能量不大，在計算屏蔽时可以把它們忽略（有些特殊情況除外，例如对于燃料进行循环的反应堆）．

γ 射綫也可分成两个基本組：瞬发的与緩发的．裂变时产生的瞬发 γ 射綫的能譜[1—3]可用下式表示：

$$N(E) = N_0 e^{-E},$$

式中 $N(E)$——1 兆电子伏能量間隔內的 γ 量子数，$E$——γ 量子的能量，单位为兆电子伏．

实驗曾經求出[4]

$$\int_{0.2}^{8\text{ 兆电子伏}} N(E)dE = 7.59 \text{ 量子/裂变},$$

而

$$\int_{0.2}^{8\text{ 兆电子伏}} EN(E)dE = 7.49 \text{ 兆电子伏/裂变}.$$

緩发 γ 射綫是在裂变产物衰变时形成的．一次裂变放出的緩发 γ 射綫的总能量約为 7 兆电子伏，它的能譜分布在 0.1—0.3 兆电子伏間[2]．

緩发 $\gamma$ 射綫的半衰期，对于不同的裂变产物，从十分之几秒到几年不等.

还有次級輻射源，包括:

1. 物质的原子核与 $\gamma$ 射綫相互作用时产生的光中子. 在屏蔽計算时有实际意义的是 $\gamma$ 量子与鈹核和氘核相互作用时光中子的形成.

2. 俘获中子时产生的 $\gamma$ 射綫（俘获 $\gamma$ 輻射），与随着非弹性散射放出的 $\gamma$ 射綫. 俘获 $\gamma$ 射綫的平均能量高于非弹性散射时形成的 $\gamma$ 射綫的能量*.

3. 流經反应堆活性区的載热剂所放出的輻射. 这种輻射可能是 $\gamma$ 射綫（如用鈉做載热剂），也可能是 $\gamma$ 射綫与中子（用水做載热剂），还可能是軔致 $\gamma$ 輻射（用鋰做載热剂），随載热剂所用的物质而异.

**$\gamma$ 輻射的穿透** $\gamma$ 輻射穿过屏蔽材料时，它的衰減总是在寬束情况下发生的，也就是这时由于康普頓多次散射** 的影响不服从簡单的指数衰減規律. 考慮到多次散射的貢献，就要在指数前面加一个积累因子，它是屏蔽物质的原子序数、厚度以及入射 $\gamma$ 射綫能量的复杂的函数.

积累因子是在所討論的空間那一点中 $\gamma$ 輻射的总剂量（能量、数目或所吸收的能量）与非散射輻射的剂量（能量、数目或所吸收的能量）之比.

由于迁移方程中仁可芳雄-塔姆（Клейна-Нишина-Тамм）公式的数学形式的特点，积累因子和其他与多次散射有关的各量（$\gamma$ 射綫的能量分布与角分布）的計算至今还是复杂的問題***.

这个方程最恰当的解可用多項式方法即矩的方法求得[15,16]. 用这一方法曾經对几种介质計算了无限介质中 1—20 个 $\gamma$ 射綫自由路程的距离間隔內对于能量从 0.255 到 10 兆电子伏的 $\gamma$ 射綫的各向同性点源、单向平面源与各向异性源的积累因子[17].

計算的結果除低能区域外（$E < 0.7$ 兆电子伏）[20—22] 与文献 [18—21] 的实驗数据很好符合.

图 1 表示对于原来能量为 0.5 与 8 兆电子伏的 $\gamma$ 射綫，剂量积累因子与物质层的原子序数与厚度（以 $\gamma$ 射綫自由路程为单位）的关系.

为了計算从不同几何形状的源出来的 $\gamma$ 輻射的穿透，可把积累因子写成指数相加的形式. 在文献 [3,17] 中指出用两个指数項就可达到足够的精确度（与用矩的方法得出的結果相差不超过 5%）. 这种情况下，积累因子可表示成:

$$B(E, \mu_0 x) = A_1 e^{-\alpha_1 \mu_0 x} + A_2 e^{-\alpha_2 \mu_0 x},$$

式中 $A_1$ 与 $A_2$，$\alpha_1$ 与 $\alpha_2$ 只是源的原来能量和屏蔽物质的原子序数的函数，$A_1 + A_2 = 1$，$\mu_0$——窄束 $\gamma$ 射綫的衰減系数，$x$——屏蔽体厚度.

在用矩的方法計算积累因子时是假設介质为无限大的. 对于有限大小的介质由于 $\gamma$ 量子要从介质的边界跑出，积累因子比无限大介质的略小. 用蒙特-卡罗（Монте-Карло）組合法与解析計算定出的有限厚的水层、鉄层、錫层与鉛层的积累因子値引举在文献 [23] 中.

从文献的結果中可見，对于半无限与无限介质积累因子最大的差値对水不超过 30%，对鉛不超过5%.

---

* 有关俘获 $\gamma$ 射綫能譜的詳細报导可在文献[5—9]中找到，有关非弹性散射时形成的 $\gamma$ 射綫的能譜可在文献[10—13]中找到.

** 当 $\gamma$ 射綫穿过屏蔽层时发生两种别的重要的过程：光电效应与电子偶的形成. 如果不考虑湮沒輻射与螢光，这两个过程可認为純粹是吸收效应. 光电效应与电子偶形成的截面随元素的原子序数的增大而剧烈增大.

*** 文献 [14] 中有对于研究 $\gamma$ 射綫在物质中穿透与散射的許多工作的詳細分析.

当准直 $\gamma$ 射綫束斜向射入屏蔽面时，应該考虑到积累因子与 $\gamma$ 射綫沿法綫方向射入时的不同，这是因为后一种情形散射輻射所通过的路程比前一种情形来得短．可以用文献［24］中所描述的測量来估計当准直光子束斜向射入屏蔽体时积累因子的改变．

当屏蔽体由数种元素构成时，計算 $\gamma$ 輻射的穿透就要复杂了．对于两种或几种元素的均匀混合物，积累因子可用矩的方法或文献［17］中所說的其实質在于求出一个混合物的有效原子序数的办法計算．再利用积累因子与 $Z$ 的关系（見图 1）就可求出相应混合物的积累因子．用矩的方法与这个方法計算出的积累因子的差值，拿水与鉛的混合物来說不超过5％．

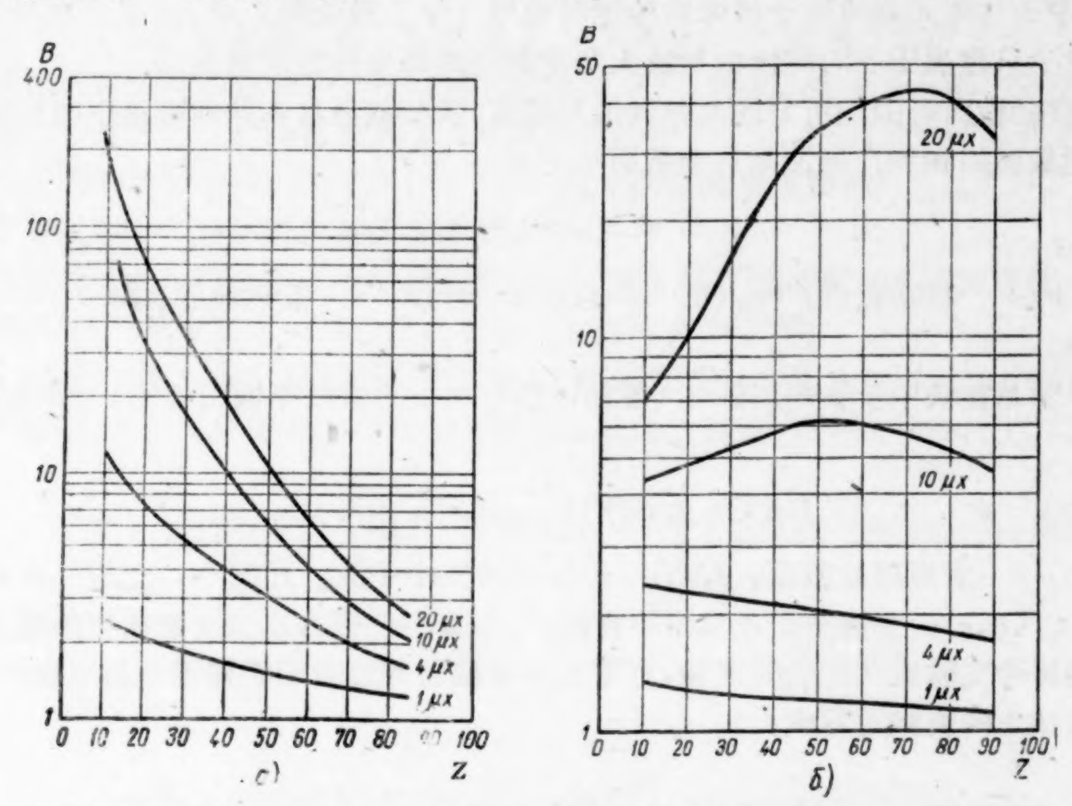



图 1　对于不同厚度（以 $\gamma$ 射綫的自由路程 $\mu x$ 为单位）的物質层，剂量积累因子 $B$ 与原子序数 $Z$ 的关系．

$a$—$\gamma$ 射綫能量 $E_0=0.5$ 兆电子伏；　$б$—$\gamma$ 射綫能量 $E_0=8$ 兆电子伏；各向同性点源．

对于由間隔排列的材料层組成的屏蔽体（非均匀屏蔽体），由于矩的方法不能用于这种情况，积累因子的計算就大为复杂了．这种情况下 $\gamma$ 射綫的衰減可利用 $\gamma$ 量子在前一层边界上的微分角分布逐层进行計算[25—30]．可是那种計算方法有很大的困难．

$\gamma$ 輻射在非均匀屏蔽层中的穿透，可利用文献［17］中所引的积分譜近似地估計．那样估計的正确性为双层屏蔽的測量結果所証实[20,31]．

**中子的穿透**　在大多数实际情况中，当中子在屏蔽体中穿过时，特別値得注意的是快中子（能量大于 2 兆电子伏），因为中子与屏蔽材料的相互作用截面总是随能量的增大而減小的．較低能量中子的吸收要強得多并且起着形成俘获 $\gamma$ 輻射的作用．

快中子也和 $\gamma$ 射綫一样，通过屏蔽体时要受到多次散射，因此中子的穿透也可用迁移理論的方程描述．这些問題在文献［32—34］中作了討論．可是在这些文献的計算中都作了許多簡化的假設（忽略非弹性散射、各向异性的弹性散射等等）．

最近发表的文献［35,3］，用矩的方法計算了中子在空气、水与混凝土中的空間与能量分布．

由于上述原因，近似的方法不能普遍的应用，而应用矩的方法又必須利用快作用的电子計算机．可是为了全面的了解物理过程与建立各种半經驗理論，所有这些方法都用到了．

可用来計算快中子在含氢的屏蔽体中穿透的最成功的半經驗理論之一是"移动"理論[4]. 这一理論是以下列物理現象为基础的:

a) 快中子在受到重元素核的非弹性散射后接着与氢碰撞时就慢化得較快, 这是因为氢的截面随中子能量的減小而增大;

б) 碰撞的結果改变了中子的运动方向, 这就使得中子所通过的路程增大, 也就是使中子的吸收几率增大;

в) 当中子与重元素的原子核弹性碰撞时也增大中子吸收的几率, 可是在那种碰撞时, 相互作用的发生只靠属于各向同性散射或大角散射的那部分弹性散射截面.

因此, 移动截面近似地可写成非弹性散射截面, 吸收截面与非前向圓錐中阴影散射的那部分弹性散射截面的相加. 近似地这个截面可写成:

$$\sigma_{rem}(E) = \sigma_{tot}(E) - \sigma_s(E)\overline{\cos\theta},$$

式中 $\sigma_{rem}(E)$——移动截面, $\sigma_{tot}(E)$——总截面, $\sigma_s(E)$——散射截面, $\overline{\cos\theta}$——散射角余弦的平均值.

平面单向单能快中子束在屏蔽体 (譬如由插在水中的物质平板构成的) 中的衰減, 可根据下式計算:

$$J(E) = J_0(E)\,D_{H_2O}(E, r)\,e^{-\Sigma_{rem}(E)T},$$

式中 $\Sigma_{rem}(E)$——宏观移动截面, $J_0(E)$——原来的快中子流, $J(E)$——离源 $r+T$ 距离的快中子流, $D_{H_2O}(E, r)$——快中子在水中的衰減, $r$ 与 $T$——各为水层与物质层的厚度.

根据橡树岭实驗室[4] 所做的实驗, 可看出移动截面理論对于裂变譜也是正确的. 这时, 中子在水的氢核上的衰減可写成:

$$D_H(r) = \frac{\int_0^{E_{rp}} \mathrm{sh}\sqrt{2E}\, e^{-E} e^{-\Sigma_H(E)} dE}{\int_0^{E_{rp}} \mathrm{sh}\sqrt{2E}\, e^{-E} dE},$$

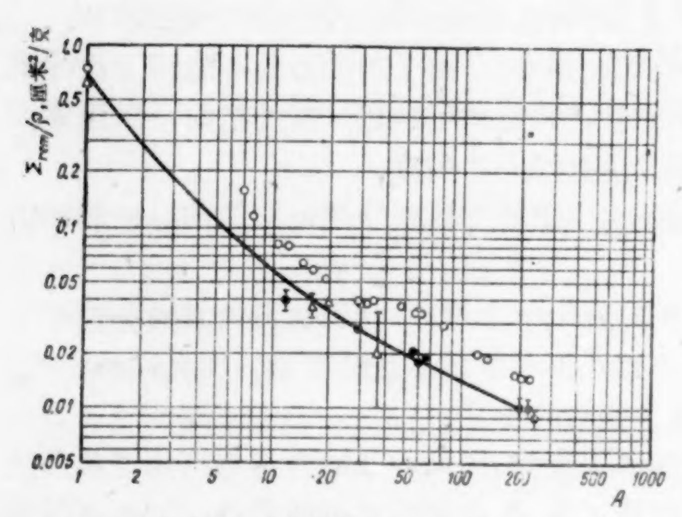



图 2 移动截面(单位为厘米²/克)与原子量 $A$ 的关系.

○—能量 8 兆电子伏时的总截面; △—测量几种元素的混合物所得的移动截面; ●—测量几种元素所得到的移动截面; $\Sigma_{rem}$—宏观移动截面 (厘米²); $\rho$—物质的密度 (克/厘米³).

式中 $E_{rp}$——裂变譜的边界能量, $\Sigma_H(E)$——氢的宏观截面.

氧的移动截面 $\Sigma^0_{rem}$ 可从裂变譜中子在水中衰減的实驗曲綫与按上式算出来的衰減曲綫的差别求出来. 表明了水中的衰減 $D_{H_2O}(r)$ 可用下式表示:

$$D_{H_2O}(r) = D_H(r)\,e^{-\Sigma^0_{rem} r},$$

也就是在所作的假設下, 比值 $D_{H_2O}(r)/D_H(r)$ 可以用一个指数函数很好地表示, 指数函数的参数就是氧的移动截面.

如果在水中插入任何其他物质的平板, 那么裂变能譜的中子束的衰減为:

$$D = D_{H_2O}\,e^{-\Sigma_{rem}T},$$

式中 $\Sigma_{rem}$——水中所放物质的宏观移动截面, $T$——物质平板的厚度.

图 2 是对裂变中子譜进行测量时得到的几种元素的移动截面[4]．由图可見，移动截面近似地是中子能量为 8 兆电子伏时总截面的 0.6—0.7，而原子量小的元素单位質量的移动截面具有最大值．

移动截面可用在快中子在均匀含氢屏蔽体中衰減的計算中，这时对于平板定出的移动截面应当減小10%[4]．必須指出，利用移动截面的計算方法适用于所含的氢原子不少于 20% 的屏蔽体[3]．

有时要用不含氢的屏蔽体．在这种情况下，能量高于 1—2 兆电子伏的中子与屏蔽物质的相互作用所形成的别的能量的中子可有更大的穿透本領，并且决定屏蔽的厚度与重量．可以中子在鉄中的穿透为例．如果能量大于 1 兆电子伏的快中子以 6—7 厘米的弛豫长度衰減，那么由快中子形成的热中子与共振中子以大于 30 厘米的弛豫长度衰減[4,36]．这时，大部分积累中子的能量都在第一个非弹性散射能級以下．

到目前为止，还沒有建立描述中子在不含氢的屏蔽中穿透的滿意的解析理論．有关这个問題的实驗工作中，只发表了关于中子在石墨中穿透的文章[37—38]．

**俘获 $\gamma$ 輻射*** 实际上从反应堆出来的全部中子，归根結底总是在屏蔽体中被吸收并引起強大的俘获輻射，在大多数情况下俘获輻射决定屏蔽体的重量，正象快中子决定了屏蔽体的大小一样．

为了考虑俘获 $\gamma$ 輻射的穿透与形成，必須进行中子（它是俘获 $\gamma$ 輻射的源）的空間与能量分布的多羣計算．

俘获 $\gamma$ 輻射的弛豫长度 $\Gamma_\gamma$ 可近似地通过产生这一輻射的中子的弛豫长度 $\lambda_n$ 与这一俘获时产生的 $\gamma$ 射綫的弛豫长度 $\lambda_\gamma$ 表示

$$\Gamma_\gamma = \sqrt{\lambda_n^2 + \lambda_\gamma^2}\,.$$

俘获 $\gamma$ 輻射的弛豫长度与鉄水混合物中鉄的体积浓度的关系曾經作过实驗研究[39]．发現当鉄的浓度在 50—60% 时 $\Gamma_\gamma$ 值出現极大．

看来，在純鉄中 $\Gamma_\gamma$ 較大是与能量約为 25 千电子伏时中子在鉄中的散射截面的“陷落”是有关系的．

**散射輻射的穿透** 为了減小屏蔽体的大小与重量，有时合理地采用阴影屏蔽，这时核反应堆的工作人員是处在这一屏蔽所造成的阴影里．利用那样的屏蔽时要考虑繞过屏蔽体的散射輻射（图 3）．

計算散射輻射的穿透是相当困难的，因为除了上面所說的多次散射过程外还应該考虑阴影屏蔽体复杂的几何形状的影响．

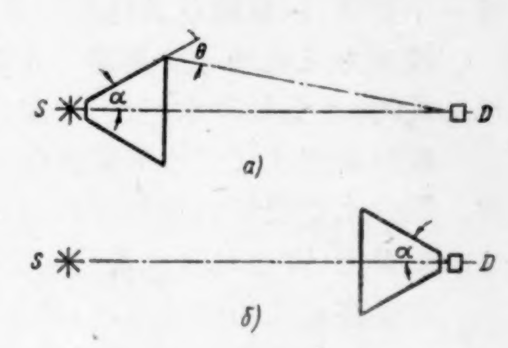



图 3 阴影屏蔽体．
a—阴影屏蔽体装在源 S 上；
б—阴影屏蔽体装在探測器 D 上．

文献中沒有关于正确計算那种屏蔽的报导**．有效輻射源法是其中的一个方法[2,42]．象在文献[42]中所用的方法就是用单次散射的 $\gamma$ 射綫作为源．这些源认为是各向同性的，而 $\gamma$ 射綫的能量相当于 $\theta$ 角下康普頓散射的能量．源的強度取其等于原体积中散射的总数；而所用的积累因子与各向同性的点源情形一样．虽然作了这些簡化的假

* 随着中子的非弹性散射而发生的 $\gamma$ 輻射，能譜較軟，通常只在头几层屏蔽的放热計算中加以考虑．

** 除了一些关于用蒙特-卡罗方法計算中子与 $\gamma$ 輻射的反射系数的工作外[2,40,41]．

設,結果与实驗数据仍然符合得很滿意.

文献[43],[2],[30]中所描述的实驗研究指出,在改变阴影屏蔽体的掩蔽半角 $\alpha$ 时(图3),不管屏蔽体是在放探测器处或者在放源处,剂量強度(至少对于15°以上的角度)按近似于指数的規律下跌.

計算装在探测器上的阴影屏蔽体可以用介質中 $\gamma$ 輻射強度的角分布,这时对于一定厚度屏蔽体,可把剂量表示成探测器的阴影屏蔽体半角 $\alpha$ 的函数:

$$D(\alpha) = \int_0^{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi/2}\int_0^{E} I(\alpha', E')\sigma_a(E')\sin\alpha' d\alpha' dE' d\varphi,$$

式中 $I(\alpha', E')$ —— $\gamma$ 輻射強度的微分能量角分布[25-30], $\sigma_a(E')$ —— $\gamma$ 輻射在空气中的能量吸收系数.

**源的几何形状** 知道了象各向同性点源、单向点源那些基本輻射源的衰減規律(衰減函数)就可用叠加法計算由任意形状源出来的輻射在屏蔽体中的衰減. 进行那样的計算就必須用到快作用計算机.

这个問題近似地可以用把复杂形状的輻射源表示成一个或几个簡单形状(綫,球,圓錐,圓盘等等)的輻射源的方法来求解. 計算从那些源出来并穿过屏蔽体的輻射剂量可用专門列成表格的函数(指数,积分指数,正割积分等等)来表示[2,44]. 有时这些解不能表示成列成表格的函数,这时就用数值計算法[45].

計算中还要考虑从源出来的多次散射輻射.可是如果源的四周都是屏蔽体,那么多次散射輻射在屏蔽体外的貢献很小,只有在貼近反应堆的那些屏蔽层的放热計算中才应該予以注意.

## 工 程 問 題

核反应堆工作时,从活性区产生出相当于100—1000亿个最大允許剂量的輻射流,$\gamma$ 射綫也好、中子也好都是这样[46]. 为了把这些輻射減弱到最大允許剂量,屏蔽体的厚度要求在考虑了依靠屏蔽材料所占空間的減弱(几何衰減)后,相当于 $\gamma$ 輻射与中子20个弛豫長度的減弱.

因而,建立核反应堆的屏蔽要用減弱 $\gamma$ 射綫与中子同等有效的复合屏蔽体.

由于在自然界中不存在減弱中子与 $\gamma$ 射綫同等有效的元素,屏蔽体应当由小原子量的元素(为了減弱中子)以及中等与大原子量元素(为了減弱 $\gamma$ 射綫)构成. 后一个要求也是为了有效的減弱高能中子. 建立質量最輕、体积最小而且价格最便宜的屏蔽体是一項艰巨的任务. 要同时全部滿足这三个要求是不可能的,因为它們是矛盾的,因此必須根据核反应堆的用途放棄一个要求,以便滿足其他几个要求.

核动力反应堆可按用途* 分成两类:固定式的,原子电站的核动力反应堆属于这一类;与移动式的,水上与潛水船舶、火車、飞机与宇宙船的反应堆属于这一类.

設計固定式反应堆的屏蔽体时,主要从經济观点出发[47]. 因此用混凝土与水作为屏蔽体. 混凝土是很好的建筑材料,具有滿意的屏蔽性質[48,49,2,3]. 目前用作屏蔽体的有好多种牌号的混凝土,密度与含水量变化很大(密度从1克/厘米$^3$—超过6克/厘米$^3$).

对于移动式的核反应堆,首先要求屏蔽体体积最小与重量最輕,其次才去考虑經济問題.

从輻射与物質相互作用过程来看,可以得出这样的結論:最小体积与最小重量的屏蔽体应当只含有氢与重的成份(例如鎢或鉛).

为了免除俘获 $\gamma$ 輻射,屏蔽体中应該放些俘获截面很大,但只放出很軟的 $\gamma$ 射綫或荷电粒

---

* 从屏蔽的观点看来,把核反应堆按照另一些特点分类是有意义的,如按活性区的中子譜(热中子,中能中子与快中子反应堆),按載热剂材料与它的迴路数,按工艺布置等等. 但这些問題越出了本文的討論范圍.

子的物質．为此通常应用硼或鋰．

含氢材料通常用水、聚合乙烯、石蜡与金属氢化物．有些金属氢化物所含的氢与水一样甚至比水还多，此外还含有中等与大原子量的元素．有些氢化物的密度，例如釩化氢，为 5.3 克/厘米$^3$，而其中氢的含量为水中氢含量的 2.4 倍．

可是大多数金属氢化物在提高温度时要分解而析出氢来（除了鋰化氢外，实际上直到熔点 680°C 也不析出氢）．

其次，由于在氢化物中象在混凝土中一样，重的成分均匀地分布，由那种材料組成的屏蔽体在重量方面不会是最佳的．

有时，由于温度很高不能用含氢材料組成的屏蔽体．这时可用碳化硼、和硼压在一起的碳[3]、硼合金[2-3]（与鋁燒結在一起的碳化硼）．

用作重成分的除了鎢与鉛外，采用主要含鎢与鈾的硬合金．

用作反应堆結构材料与屏蔽体的鋼，同时是 $\gamma$ 射綫与中子的滿意的屏蔽体．

設計屏蔽体不仅要选择合适的材料，还包括它們合理的布置．由于移动式反应堆屏蔽体体积較小（可与反应堆的体积比較），同样厚度的屏蔽层放得愈靠近反应堆所占体积就愈小．因此重的成分希望尽可能布置得靠近反应堆．可是层中与层外次級 $\gamma$ 輻射的形成又妨碍这样做．因而当一层或几层重成分布置得最巧妙时可使屏蔽体重量最輕．根据文献 [3] 的数据，鉛—水屏蔽体中最后一层鉛可放在离屏蔽体外边緣 60 厘米处．

必須指出，在重成分以及在包围着它的材料中放些硼可使重成分組成的屏蔽层能更靠近反应堆些．

硼能使俘获輻射減少到什么程度，可以硼鋼为例．当这种鋼含硼約为 3%（按重量）时，可使由于吸收热中子而产生的俘获輻射大約減少到五十分之一．

在設計屏蔽体时也可由下列因素使屏蔽体的重量与体积減少：

1. 利用阴影屏蔽体．一般情况下，阴影屏蔽体的布置与运輸設备的結构有关．例如对于装核发动机的飞机，阴影屏蔽体可装在靠反应堆的乘客室上[53]．阴影屏蔽应当預防設备的活化，并且在停堆后能接近这些設备而不受限制．

2. 合理的布置第一迴路載热剂的管道与設备，使带放射性的第一迴路載热剂的导管縮到最短，而放射性的設备应該布置得使放射性較小的設备去屏蔽放射性較大的設备．例如，带放射性載热剂的蒸汽发生器可用作反应堆的局部屏蔽．

3. 減弱服务人員停留时間不長的个別方向的屏蔽．但这时不要使最大允許剂量数增加超过 100—1000 倍．

4. 充分利用运輸設备的其他装备作为輔助屏蔽体．

应当指出，設計屏蔽体时还注意到下列問題：

1. 在选择屏蔽体的材料时要考慮它們的物理力学与化学性質．

2. 由于屏蔽体中吸收了輻射会产生大量的热，这些热必須传走．如所用的材料导热性与热稳定性很差，就要在反应堆的活性区与主要屏蔽体之間装上所謂热屏蔽[51]．

3. 屏蔽計算中应考慮到設計过程中不可避免地会遇到的数目不小的管道、縫隙、空洞与不均匀性的影响．

4. 停堆时須要检查或修理的一些設备，可能的話最好放在能屏蔽从裂变产物出来的 $\gamma$ 輻射（如果反应堆中用重水或鈹作为慢化剂还有中子）的那个位置．

最后应当指出，由于所有物理与工程問題的錯綜复杂，設計时无法考慮影响到屏蔽体質量的全部因素．因此核反应堆的屏蔽体应先作試驗与修改[52]．

## 参 考 文 献

[1] Proceedings of the symposium on the physics of fission held at Chalk River. Ontario, 14—18 may 1956, p. 225.
[2] Т. Роквел: Защита ядерных реакторов. Изд. ИЛ, 1958.
[3] B. T. Price, C. C. Horton, K. T. Spinney: Radiation Shielding. Pergamon Press, London, 1957.
[4] E. P. Blizard: *Annual Rev. Nucl. Sci.* **5**, 73 (1955).
[5] P. S. Mittelman, R. A. Liedtke: *Nucleonics* **13**, 5, 50 (1955).
[6] Л. В. Грошев, Б. П. Адъясевич, А. М. Демидов: Физические исследования. Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Изд. АН СССР, 1955, стр. 258.
[7] Б. П. Адъясевич, Л. В. Грошев, А. М. Демидов, В. Н. Луценко: *Атомная энергия*, № 2, 28 (1956).
[8] Л. В. Грошев, А. М. Демидов, В. Н. Луценко, В. И. Пелехов: *Атомная энергия* **3**, 9, 187 (1957).
[9] Л. В. Грошев, А. М. Демидов, В. Н. Луценко, В. И. Пелехов: *Атомная энергия* **4**, вып. 1, 5 (1958).
[10] R. B. Day: Gamma-rays from neutron inelastic scattering. Доклад № 581, представленный США на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955.
[11] R. B. Day: *Phys. Rev.* 102, 767 (1956).
[12] L. E. Beghian, D. Hicks, B. Milman: *Philos. Mag.* **46**, 963 (1955).
[13] И. Ф. Барчук, М. В. Пасечник, Ю. А. Цыбулько: *Атомная энергия* **4**, вып. 2, 132 (1958).
[14] В. С. Галищев, В. И. Огиевецкий, А. Н. Орлов: УФН **61**, вып. 2, 161 (1957).
[15] L. V. Spenser, U. Fano. J. Res. Nat. Bur. Standards **46**, 446 (1951).
[16] H. Goldstein, J. E. Wilkins, L. V. Spencer: *Phys. Rev.* **89**, 1150 (1953).
[17] H. Goldstein, J. E. Wilkins: U. S. Atomic Energy Commission, NYO-3075, 1954.
[18] G. R. White: *Phys. Rev.* **80**, 154 (1950).
[19] C. Garret, G. N. Whyte: *Phys. Rev.* **95**, 889 (1954).
[20] С. Г. Цыпин, В. И. Кухтевич, Ю. А. Казанский: *Атомная энергия*, № 2, 71 (1956).
[21] В. Н. Сахаров: *Атомная энергия* **3**, № 7, 57 (1957).
[22] R. B. Theus, L. A. Beach, W. R. Faust: *J. Appl. Phys.* **26**, 294 (1955).
[23] M. Berger, J. Dogget. *J. Res. Nat. Bur. Standards* **56**, 89 (1956).
[24] F. S. Kirn, R. J. Kennedy, H. O. Wyckoff: *Radiology* **63**(1), 94 (1954).
[25] J. Gertaine: Report NDA—15c-10, NYO-3074, 1953.
[26] M. J. Berger: *J. Appl. Phys.* **26**, 1504 (1955).
[27] L. V. Spencer, F. Stinson: *Phys. Rev.* **85**, 662 (1952).
[28] Ю. А. Казанский, С. П. Белов: Сборник «Физика и теплотехника реакторов». Атомиздат, 1958, стр. 123.
[29] G. N. Whytl: *Canad. J. Phys.* **33**, 96 (1955).
[30] J. N. Hubbel, E. Hayward, W. F. Tutus. *Phys. Rev.* **108**, 1361 (1957).
[31] А. Н. Орлов, Г. В. Федоров: ЖТФ **26**, 1991 (1956).
[32] R. E. Marshak: *Rev. Mod. Phys.* **19**, 185 (1947).
[33] G. C. Wick: *Phys. Rev.* **75**, 738 (1949).
[34] G. Holte: *Arkiv fys.* **2**, 48, 523 (1951); **3**, 14, 209 (1951).
[35] S. S. Holland, P. I. Richard: *J. Appl. Phys.* **27**, 1042 (1956).
[36] Д. А. Бродер: *Атомная энергия* **3**, № 7, 55 (1957).
[37] Д. Юз. Нейтронные исследования на ядерных котлах. Изд. ИЛ, 1954.
[38] В. С. Березин, Л. В. Грошев, В. С. Дикарев, М. Б. Егиазаров, Е. Н. Королев, В. Г. Мадеев, Ю. Г. Николаев: *Атомная энергия* **2**, № 2, 118 (1957).
[39] В. И. Кухтевич, С. Г. Цыпин: *Атомная энергия* **3**, № 7, 56 (1957).
[40] E. Hayward, T. Hubbel: *Phys. Rev.* **93**, 955 (1954).
[41] J. F. Perkins: *J. Appl. Phys.* **26**, 655 (1955).
[42] В. И. Кухтевич, Ю. А. Казанский, Ш. С. Николайшвили, С. Г. Цыпин: *Атомная энерeия* **4**, вып. 2, 138 (1958).
[43] B. W. Soole: *Proc. Roy. Soc.* **230**, 343 (1955).
[44] Г. В. Горшков: Гамма-излучение радиоактивных тел. Изд. ЛГУ, 1956.
[45] Е. Е. Ковалев: *Атомная энергия* **2**, № 6, 538 (1957).
[46] Н. Г. Гусев: Справочник по радиоактивным излучениям и защите. Медгиз, 1956.
[47] А. Н. Комаровский: *Атомная энергия* **4**, вып. 5, 437 (1958).
[48] Ядерные реакторы, том I. Физика ядерных реакторов. Изд. ИЛ, 1956.
[49] В. С. Дикарев, М. Б. Егиазаров, Е. Н. Королев, В. Г. Мадеев: *Атомная энергия* № 5, 136 (1956).
[50] К. Л. Джонсон, Ф. А. Кливленд: *Атомная техника за рубежом* № 3, 58 (1957).
[51] N. F. Lansing: *Nucleonics* **13**, **6**, 58 (1955).
[52] H. Goldstein: The attenuation of gamma-rays and neutrons in reactor Shields, AECUS, 1957.

# 控制原子反应堆的綜合自动化

格伐涅茨 (П. Кованиц)　庫尔卡 (М. Кулка)

捷克斯洛伐克原子核物理研究所，布拉格

本文研究了二种类型可以作为自动控制反应堆的綫路图的追随系統．在第一种系統中探测器追随着点的移动，例如具有給定不变的中子通量的点．这个系統兼有反应堆周期、功率及次临界状态的测量器和信号器的作用并能用于反应堆的事故保护．

在第二种系統中反应堆的功率随着探测器的移动而变化．該系統可使反应堆次临界状态、周期和功率自动調节的作用結合起来．

假如作出包含上二种追随系統的綫路图，那么就能够得出二种控制反应堆的綜合自动化綫路图的方案．第一方案較易于应用到现有的装置中去．較为完善的第二方案料想可用于新的装置．

以上提出的綫路图的优点在于它們是由簡单的标准元件构成的，能实行自检查和保証了探测器和测量装置的不变的工作条件．

日益广泛的使用原子反应堆要求簡化它們的維护和提高工作的可靠性．在反应堆运行时发生的基本困难之一是保証足够快的堆的起动和改变功率．为此必須测量变化范围大于10个数量級的中子通量．这时要記录在这范围下限处的中子通量通常仅能用非常灵敏的探測器，而这些探测器受不了強中子通量的照射，故在测量小中子通量完毕后，应将它从反应堆活性区中取出，代之应放入較不灵敏的探测器．

假如必須用一个探测器测量在寬范围內变化的中子通量，那就要把探测器逐次放在若干个确定的位置上．但是既然仪器的测量范围常小于探测器信号变化的范围，用来测量和发信号的装置一般甚至不会超出位于一个确定位置的探测器的信号变化范围．必須轉換大量测量和信号仪器的量程，使装置及其維护复杂化，并引起困难，特别在过程自动化时．

我們假定，反应堆功率在增加以及测量功率的探测器按反应堆功率的增长而放在不同的、离活性区愈来愈远的点上，在这些点上探测器将停留一段为反应堆功率在給定間隔內变化所必須要的时間．这些点的距离愈小，测量装置由探测器得到的信号变化就愈小，也就愈少需要轉換测量仪器的量程．在反应堆功率变化而探测器的信号不变时，探测器的移动情况为一个极端情况．在这种极限过渡时系統具有有意义的性质。

如果在具有固定探测器的系統中，测量反应堆的功率，仅需知道测量仪器的讀数就够了，而在跳跃式地改变自己位置的探测器系統內还必須知道它的位置．假如探测器改变自己的位置是自动的，那末这个探测器能跟随反应堆的功率，以及为了它的测量只要知道一个变数：探測器的空間坐标；在这情况下就不必要轉換测量仪器的量程了，因此探测器位置和反应堆功率間存在着一定的关系．

理論确定探测器位置和反应堆功率間的关系一般是很复杂的，因为空間中中子場的分布和由活性区飞出的中子的能譜及在活性区周围和沿着探测器运动途径上的材料的几何形状和性质有关．

文献 [3] 中提供了基于探测器自动移动的原理而构成的反应堆功率测量系統（图1）．探測器放在反应堆活性区1近旁，它的信号經2放大后在补偿器3內和一个固定信号相減，其差

别信号再經 4 放大后加往伺服机构 5. 伺服机构在減小閉合电路內信号的方向移动探测器.

这种綫路目前还沒有得到广泛的应用. 它的缺点,如 [3] 所述,因为中子通量的实际分布可能不同于綫性分布. 这种系統比具有不动探測器的,例如用微电流計的,較复杂. 如果把具有可动探測器的系統看作仅用于测量反应堆功率的系統,那末这种評价是十分必然的. 具有可动探測器系統的优越性仅在考虑到它的其他用途及在較詳細的研究它的特性时才显現出来.

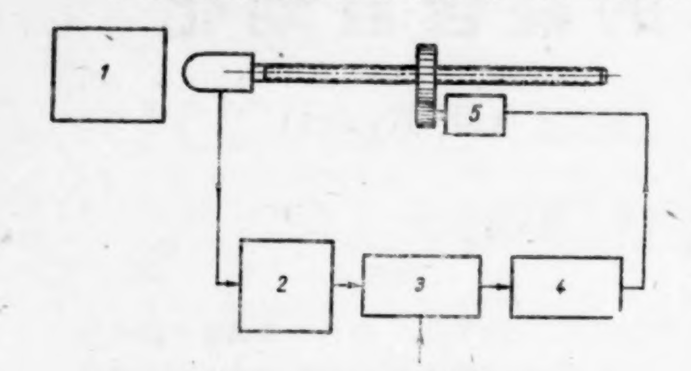



图 1 具有可动探測器的测量功率綫路图:
1—活性区; 2 和 4—放大器; 3—补償器; 5—伺服机构.

实际上中子通量的分布常接近于指数的, 这較假定这种分布是綫性的更为合宜. 例如假如把自动移动的探测器放在普通水中, 那末探测器的坐标将正比于反应堆功率的对数.

我們要注意,假如連中子場的空間分布也和指数的有差別,那末探測器的位置和反应堆功率的对数关系可借相应的改变补償信号得到.

假如系統在任何反应堆功率时均使用最小信号——这是用低灵敏度探測器测量次临界反应堆中子通量所必須的——那末在一切的反应堆功率水平时测量都会带有一定的比較大的均方起伏現象. 在反应堆功率較大时, 加大补償信号以把探測器轉到較大信号工作状态的方法就可以減少这种起伏現象.

因此,甚至在应用較小灵敏度的探測器时也能满足了既是测量小中子通量,又是测量大功率及有較好的統計特性的要求.

必須指出:具有可动探測器的测量系統使得有可能测量具有很小相对誤差的功率,并且这种誤差在探測器位置的坐标正比于反应堆功率的对数时是不变的. 这种誤差数值所以小的原因是由于测量探測器位置的簡单和精确性,而相对誤差不变是由于利用了对数标尺.

**具有追随探測器及直接放大的测量与信号系統** 假定中子通量沿着探測器移动的途径是指数地下降而反应堆功率与时間是指数地上升的. 这就是說,空間內具有固定中子通量的点在沿着离活性区的方向作匀速移动,并且它們的运动速度决定于反应堆的周期. 跟随具有不变中子通量的点的探測器同样以匀速移动. 探測器运动的速度和作用到伺服机构上的信号的数值有关。因此这个信号决定着反应堆超临界的程度. 与一般使用的反应堆周期测量器不同的是追随系統可以用不包含复杂的电子仪器的标准元件組成(图 2). 由探測器 2、放大器 3、补償器 4、定值传送器 5、放大器 6 和伺服机构 7 組成的测量系統用探測器移动方法跟随反应堆的功率. 可以給装置加上一个位置信号器 8,它在閉合电路情况下在达到給定功率时发出信号. 假如在綫路图中有信号器 9, 那么綫路图能够在反应堆超过給定反应性或反应性急剧变化时发出信号. 我們要注意,当 A 点断路时,系統变为普通的对由探測器停留的点的位置規定功率的偏移值的测量器和信号器了.

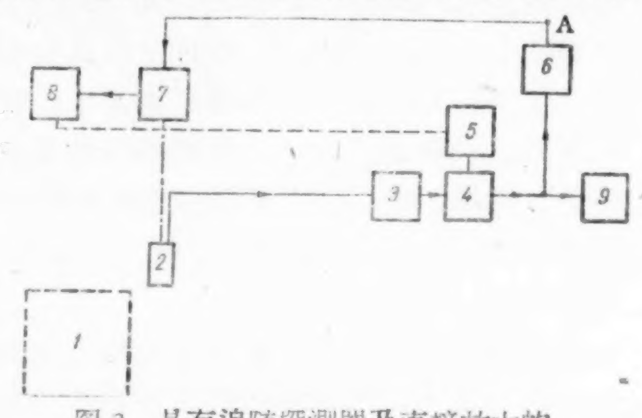



图 2 具有追随探測器及直接放大的测量和信号系統:
1—活性区; 2—探測器; 3 和 6—放大器; 4—补償器; 5—定值传送器; 7—伺服机构; 8—位置信号器; 9—反应性偏移及反应性变化速度信号器.

在仅在反应堆功率增高时动作的事故保护系統中, 必須在反应堆起动前調整好事故保护装置

的动作限値到一定的量値．影响該調整的有二个矛盾因素：假如事故水平訂得过低，那么由于增多了操作人員經常轉換事故保护仪器的操作，就增加了錯誤的事故停堆的可能性；而假如事故水平訂得过高，那么在反应堆事故性功率增加时事故系統將不能及时动作．因此，在大多数情況下这种保护系統还附有复杂的功率增加危险期的电子信号器．但是就是在这种情况下还必須使用在超过功率时，至少在反应堆功率达到給定水平后的自动动作的事故保护．

具有信号器8、9的追随探测器的閉合系統既能在反应堆出現不允許的短周期时，同时也能在超过給定周期变化速度（作用到伺服机构7上去的大量的信号或这个信号的大量的派生）以及当超过預定的功率时（探测器达到給定的位置）給出信号． 假如反应堆在某一功率下工作，那末探测器在相应的位置停止下来．如此，在A点处切断电路就將足以能使不經新的調整的系統作为到达功率的偏移和功率变化速度的信号系統．

在应用普通的事故保护系統时出現的另一个复杂性在于要保証不但在稳定状态时，并要在过渡过程时发出保护綫路不正常工作的信号．这同样使装置复杂化．

具有追随探测器的保护系統借信号器8、9能在絕大部分自身不正常工作时发出信号．在空間內探测器追随具有一定中子通量的点的移动使系統具有一种由惰性引起的“記忆”特性．追随系統不断的使过程的发展状态同先前状态作比較和在过程发展急剧变化时发出信号．

假如探测器位置和反应堆功率不是对数关系，那末为了改善追随系統的工作采用探测器的位置和定値传送器間的校正反饋（图2点綫）就够了．

有时在对数标尺上記录功率較为方便．在应用追随探测器时自录仪器的运动可由連于运动着的探测器上的簡单的机械減速器来带动．

在次临界反应堆中应用追随探测器时若反应性变化足够慢，系統卽起反应堆次临界性，卽反应堆倍增系数与1相差的測量器或信号器的作用．当反应性很快地改变时，这綫路可作为次临界反应堆周期的測量器．

如此可見，图2的綫路可用作反应堆的功率測量器、周期測量器、次临界測量器和記录仪表．它同时又有控制反应堆所有的基本物理参数的保护和信号綫路的作用．此綫路图的工作是可靠的，并不需要轉換測量量程，只要探测器和仪器的工作条件近似是不变的．同配备有一般型式和具有同上所述功用的装置比較起来，具有追随探测器的系統較簡单．

**具有追随探测器及差别信号积分器的測量和信号系統**　將图2略微改变后就能够得到另一个綫路图，它具有不同于在上节中描述过的追随系統的特性．新图中增加了积分器10（图3）（信号器9能在周期变化速度达到給定値和系統不正常工作时发出信号）．作为积分器可以应用：例如自动电位計，他同时是放大器，积分器，記录仪器，又是給定周期信号器．

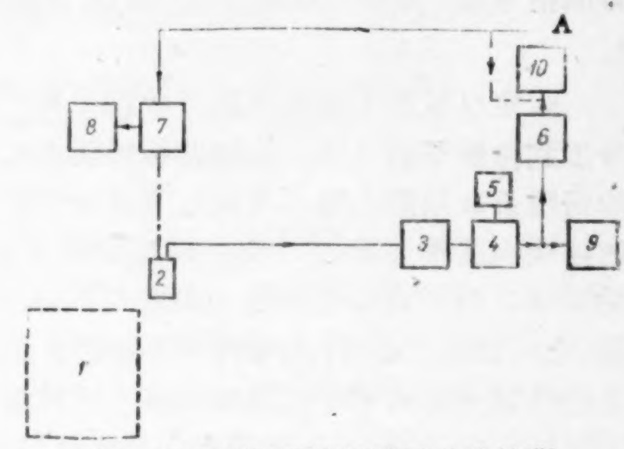



图3　具有追随探测器及积分器的測量和信号系統：
1—活性区；2—探测器；3和6—放大器；4—补偿器；5—定値传送器；7—伺服机构；8—信号器；9—功率偏移及其变化信号器；10—积分器．

二个系統工作的不同处在于具有直接放大的系統要求在功率变化时具有給定不变的中子通量的点的位置和探测器的位置間有一定的偏移．在应用具有差别信号积分器的追随系統以及引入一定的反饋时，直接在具有給定中子通量的点上就能得到追随探测器的稳定位置，并且差别信号等于零，而由积分器有一不变的信号作用到伺服机构上去．这二綫路图差不多是相同的．

**应用可动探测器于自动控制反应堆的功率** 在以上綫路图中探测器追随变化着的反应堆功率而移动．但是相反的方案也是可能有的：自动調节反应堆的功率，以使按照給定規律运动的探测器的信号为一常数值．反应堆功率自动地变化，并使探测器所至位置上具有不变的射綫密度．这样的綫路图列在图4上．由探测器来的信号經3放大和处理后在补偿器4中同定值传送器5的信号相减，并經过在6中再一次放大后作用到調节棒伺服机构7上．伺服机构8移动可动探测器2的速度由电压电源9决定．假如发生了探测器2信号和定值器5信号間的偏移，那末控制系統就会改变反应堆的功率以减小这个偏移．在A点断路时(探测器在一定位置)系統与一般的在由探测器位置及定值传送器5信号給定水平的常功率自动調节系統沒有区别．假如系統在A点是閉合的，并且定值传送器9迫使探测器作匀速运动，那末，在中子通量指数分布的情况下差别信号借反应堆控制机构改变反应堆功率变化的速度，以使反应堆功率具有相应于探测器移动速度的周期指数地上升或下降．

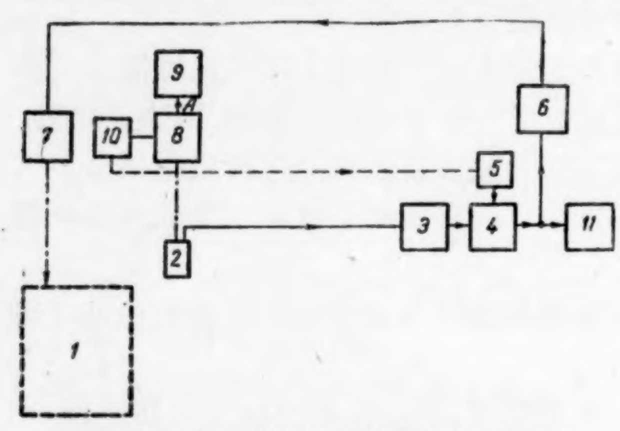


图4 用于反应堆自动控制的追随系統：
1—活性区； 2—探测器； 3和6—放大器； 4—补偿器； 5—定值传送器； 7—調节棒的伺服机构； 8—探测器的伺服机构； 9—給定探测器移动速度的电压电源； 10、11—信号器．

在次临界反应堆內移动探测器时，調节机构相应按照由探测器移动速度給定了的規律改变反应堆的倍增系数．因此，上述綫路图能作为反应堆次临界状态参数、周期或功率的調节器．

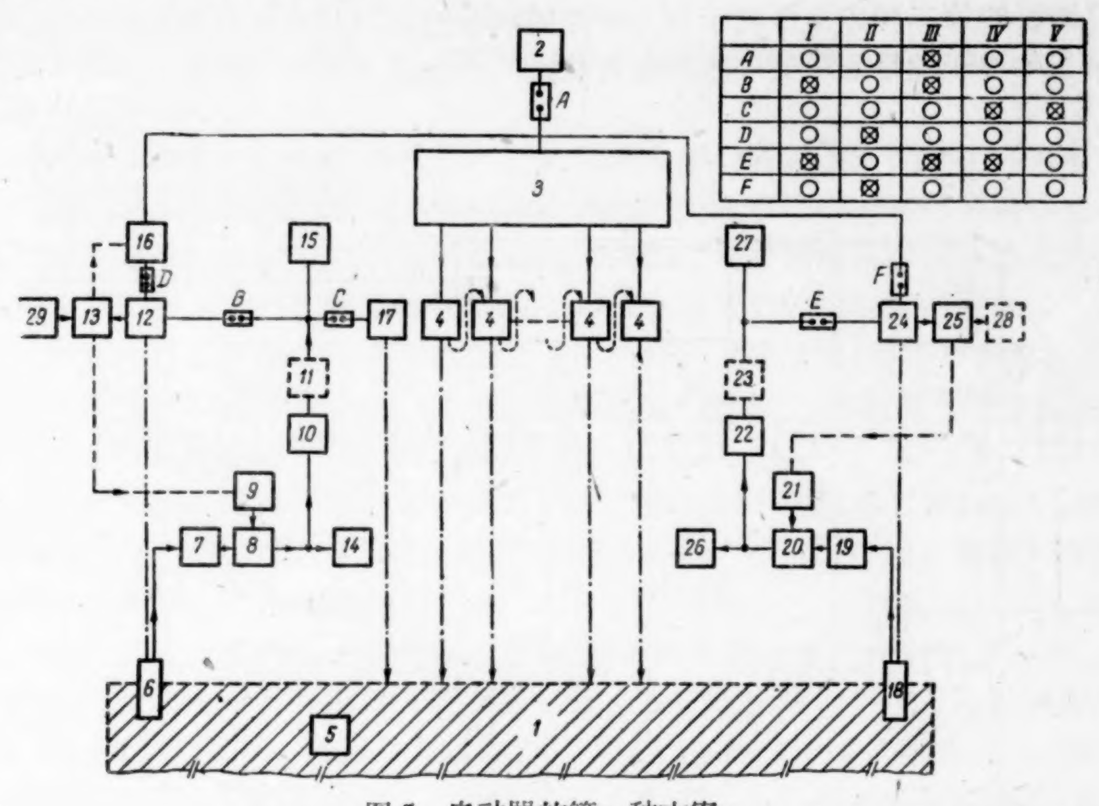
信号器10和11同在具有追随探测器的系統中一样，使自动調节系統同时也具有事故情况信号器的作用．依靠这些信号器系統能进行自监督．

为了使具有可动探测器的自动調节器动作得更准确，可以应用与探测器位置有关的校正反饋．

**控制原子反应堆的綜合自动化的方案** 第一种方案的控制原子反应堆的自动器是在次临界状态下的反应堆的次临界测量器、达到給定周期的信号器、周期和常功率自动調节器同万能保护系統的組合．这种方案的綫路图示在图5．

假定反应堆1处在次临界状态下并已准备起动．在A点接通电路把由电压电源2来的信号加到接触器板3上．接触器板能使由电压电源来的电压加到伺服传动4上．这就使反应堆的倍增系数以最大值由电压电源信号值給定的速度逐漸增加．随着倍增系数的增加中子增殖的速度也逐漸地增加．由可动探测器6来的信号經处理(例如在脉冲探测器情况下經积分)后和經7放大后在补偿器8內同定值传送器9的信号相减．由补偿器8来的差别信号經放大后(也可能在仪器11內积分后)通过B点被送往伺服传动12上，伺服传动移动探测器使之总是处在有不变的中子通量的位置上．位置信号器13是定值传送器9的校正反饋的中間部件，它并且和信号器14一起用来作反映反应堆危险状态和装置不正常工作的信号器．信号器15在次临界反应堆功率的变化周期达到預定数值时使自动追随系統从次临界测量系統轉换到周期調节状态．这时电路在A和B点被断路而在C和D点接通．现在探测器6的运动是由定值传送器16来的信号規定的．差别信号由放大器10經过C点送往調节棒的伺服传动17，借此反应堆的周期被保持在和探测器的运动及定值传送器16的信号符合的数值上．調节器的起动过程和正常工作状态由信号器14、15来检查，信号器在信号超过規定数值时动作．为了校正中子場分布对調节器工作的影响，可在信号器13及探测器运动定值传送器16間引入校正

反饋．在反应堆功率达到一定水平（即在探測器到达事先在位置信号器 13 內規定的一定位置）后在 B 点处切断电路就可使系統由周期自动調节状态轉到到达功率自动調节状态．由于在起初时刻反应堆功率总还在增加，在停止着的探測器 6 中的信号就还在增加着．这使反应堆的功率自动地得到补償．从这时起反应堆功率被自动地保持在由探測器停止位置規定的不变的水平．信号器 14 和 15 监視着功率的偏移及其变化的速度，同时也监視着系統的正常工作．为了轉移反应堆至另一个功率，只要在 D 点处閉合电路把探測器移到一新位置即可．反应堆功率就自动轉到同探測器新位置符合的水平．



| | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| A | ○ | ○ | ⊗ | ○ | ○ |
| B | ⊗ | ○ | ⊗ | ○ | ○ |
| C | ○ | ○ | ○ | ⊗ | ⊗ |
| D | ○ | ⊗ | ○ | ○ | ○ |
| E | ⊗ | ○ | ⊗ | ⊗ | ○ |
| F | ○ | ⊗ | ○ | ○ | ○ |

图 5　自动器的第一种方案：

1—活性区；2—电压电源；3—接触器板；4—調节棒的伺服传动；5—中子源；6—探測器；7—放大器；8—补償器；9—定值传送器；10—放大器；11—积分器；12—探測器的伺服传动；13、14、15—信号器；16—探測器运动定值传送器；17—調节棒的伺服传动；18—探測器；19—放大器；20—补償器；21—定值传送器；22—放大器；23—积分器；24—伺服传动；25、26、27—信号器；28—記录仪表；29—功率定值器．I—反应堆不工作；II—检查系統；III—起动次临界反应堆；IV—自动調节周期；V—反应堆功率自动地保持在不变的水平．A、B、C、D、E、F—换接点；⊗—电路接通；○—电路断开．

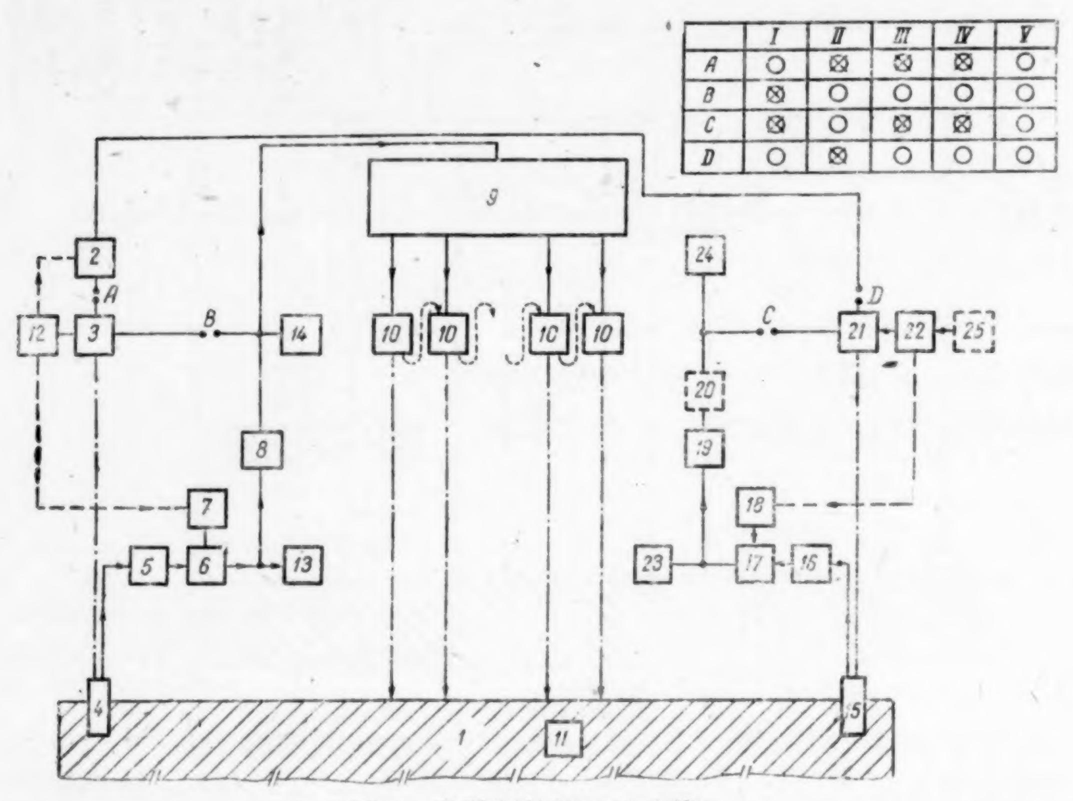
为了进一步提高系統工作的可靠程度，反应堆設有独立的保护和測量系統．这个系統在改变反应堆功率时作为周期測量器工作，它由探測器 18、放大器 19、具有探測器工作情况定值传送器 21 的补償器 20、放大器 22，可能还有积分器 23 和伺服传动 24 构成．这个测量器还設有信号器 25、26、27 及可能还有信号器 25 和定值传送器 21 間的校正連系．此系統可以附有对数記录仪器 28．在改变反应堆功率时电路在 F 点被断开，而在 E 点被接通．信号器独立地重复着仪器 15 的作用，即能把追随系統由次临界状态参数測量情况轉换到周期調节状态．在恆定功率工作时回路在 E 点处被切断，而系統起检查功率对为探測器停止位置所决定的水平的偏移和功率变化速度的保护作用．

在每一次起动自动装置前必須检查整个装置是否完好．检查追随系統时先把电源加到各个仪器上．在出現某些不正常情况时（例如探測器失去信号，放大器 1 和 19 工作不正常及其他）信号器 14、26 或者在相应的移动探測器后信号器 13、25 就发出信号．継續借伺服机构

12 和 14 依由定值传送器 16 規定規律移动探測器 6 和 18 可依次检查和調整信号器 13、14、15、25、26、27 的动作界限. 結束检查时需在点 D 和 F 处断开回路和在 B 及 E 点处接通. 当操作无誤时二个探測器应回复到原来的位置. 由于此系統的集中性系統的检查归結为改变探測器的位置及其位置变換的速度和調整信号閾.

控制反应堆的手动操作縮小为反应堆功率的选择. 功率借作用到信号器 13 的选择器 19 来給定. 开始起动反应堆时的一切其他起动操作,包括維持不变的反应堆功率,是自动进行的.

綜合自动器的第二种方案区别于以上研究的仅在提高次临界反应堆反应性程序的不同上. 此系統在起动开始时是以反应堆次临界状态的調节器工作的 (图 6).




| | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| A | ○ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ○ |
| B | ⊗ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| C | ⊗ | ○ | ⊗ | ⊗ | ○ |
| D | ○ | ⊗ | ○ | ○ | ○ |

图 6　自动器的第二种方案:

1—活性区; 2—定值传送器; 3、21—探測器的伺服传动; 4、15—可动探測器; 5、8、16、19—放大器; 6、17—补偿器; 7、18—定值传送器; 9—接触器板; 10—調节棒的伺服传动; 11—中子源; 20—积分器; 12、13、14、22、23、24—信号器; 25—記录仪表. I—反应堆不工作; II—检查系統; III—自动調节在次临界状态下的反应堆的周期; IV—自动調节在超临界状态下的反应堆的周期; V—反应堆功率自动地保持在不变的水平. A、B、C、D—換接点; ⊗—电路接通; ○—电路断开.

假定,反应堆 1 (图 6) 在次临界状态下. 在 A 点接通电路使由定值传送器 2 来的信号加到伺服机构 3 上,伺服机构开始从活性区周围提出探測器 4. 探測器的信号經在环节 5 内放大后在补償器 6 内同由探測器 7 的工作情况定值传送器来的信号相減,并經 8 内放大后加往接触器板 9,接触器板能使电压加到伺服机构 10 上,这就逐漸地增大了反应堆的倍增系数. 反应堆倍增系数的变化是自动地进行的,它使由源 11 引起的增殖中子通量符合于探測器 4 的位置. 在这个阶段的起初时期检查功率的增长是由信号器 12 来实现的. 信号器 13、14 监視着过程的发展. 当反应堆功率达到給定水平时,由 12 来的信号在 A 点处切断电路使装置轉到自动調节反应堆功率情况下工作. 此后,信号器 13 和 14 在出現不允許的反应堆功率对由探測器位置 4 給定水平的偏移时发出信号.

除了上述的自动控制系統外,在图 6 的綫路图中还有万能的保护和測量系統,此系統由追

随探测器 15、放大器 16 和 19、具有定値传送器18的补偿器 17（可能还有积分器 20）、伺服传动 21 和信号器 22、23 及 24 組成．这一部分綫路图的工作情况同前．

二个由第二种方案綫路图构成的系統能加装 12 和 7、12 和 2（或 22 和 18）間的校正反饋或对数功率記录仪器 25．装置的检查和在图 5 上的綫路图相同．

我們注意，探测器位置信号器能用于实現其他一系列我們还沒讲到过的操作．借之在不同水平功率时能够部分或全部接通或切断輸热系統和自动地进行其他的有关反应堆功率的操作．由于反应堆功率能借在綫路图內的簡单換接操作自动的进行，这就簡化了反应堆工作按照預定图案变化及远距离控制的自动化．

**二种綜合自动化系統的比較** 从工作情况和在現有装置上应用的可能性观点来看在二种方案間是存在着差别的．

第一种和第二种方案工作中的差别首先是反应堆調节棒由于其位置不同有不同調节效应的結果．在第一方案中給定的是调节棒运动的速度．当調节机构的运动速度不变时倍增系数的变化速度是不相等的．調节棒运动的最大速度受最大允許倍增系数变化速度的限制．因之在第一方案中以上所述关系的非綫性导致为起动反应堆所必需的时間的增加．

在第二方案中倍增系数以与探测器运动速度符合的速度改变，与調节棒效应的变化无关．調节棒的运动速度自动地适应于給定的改变倍增系数的速度．这就減小了为起动反应堆，但不增加倍增系数变化允許速度所必需的时間．

对二个方案实际可用性問題的探討表明，第二种方案不需要調节棒伺服机构的可調电动机，并可逐漸地在現有的装置上使用．例如，在第一阶段可以仍保留用补偿棒的手动控制和可以逐漸地扩大自动器的作用范围．

第二方案是第一方案的进一步改善，但料想較多的是把它应用于新的装置中．

为了实現二种方案必須要用高灵敏度能测量停止了的反应堆中中子通量的探测器．假如达不到这样的灵敏度，那末，可以在起动初期用自动器按照預定規律增加反应堆的倍增系数，并仅在到达探测器灵敏度的界限內时継續按照第一或第二具有可动探测器的自动器方案起动反应堆．

以上所述系統的基本思想在捷克斯洛伐克科学院的反应堆上用实驗加以驗証了，得到了良好的結果*．

（署东譯）

## 参　考　文　献

[1] С. Глесстон, М. Эдлунд: Основы теории ядерных реакторов. Изд. ИЛ, 1954, стр. 141.
[2] Э. М. Вейнберг, Томас Е. Коул, Мэрвин М. Манн: Реактор для испытания материалов и другие исследовательские реакторы. Экспериментальные реакторы и физика реакторов. Гостехиздат, 1956, стр. 190.
[3] М. Шульц: Регулирование энергетических ядерных реакторов. Изд. ИЛ, 1957.

* 在以上文章里所述的系統的实驗性研究的結果在由捷克斯洛伐克提交到第二屆国际和平利用原子能会議的报告 No. 2103 中已闡述了．

# 鈾的組織和性質对其受輻照时性能的影响

扎伊莫夫斯基 (А. С. Займовский) 謝尔盖耶夫 (Г. Я. Сергеев)
基朵娃 (В. В. Титова) 列維茨基 (Б. М. Левитский)
索庫尔斯基 (Ю. Н. Сокурский)*

本文介紹了一些关于鈾的試样在受輻照时其尺寸和形状变化的資料. 已經証明,調整鈾的組份和加工条件($\alpha$ 相区内的变形程度及热处理的方法)来改变鈾的晶粒大小和結构, 可以使鈾的表面輻照畸变的程度和 $G_i$ 值在相当大的范围内变化.

研究了淬火状态鈾的晶粒大小变化、硬度、强度极限和屈服极限与鈾中鉄、硅和鋁的含量的关系. 淬火时的冷却速率以及上述加入物的含量,对 $\beta\to\alpha$ 轉变时的临界点位置有影响. 例如: 当冷却速率为 400°C/秒时, 含 0.05% (重量比)硅的合金,其 $\beta\to\alpha$ 轉变的临界点降低至 530°C.

实驗数据指出,鈾在 $nv=6\cdot10^{12}$ 中子数/厘米$^2$秒的輻照条件下,蠕变加速达 50—100 倍,卽无論是有結构的鈾或无規定取向的鈾都为 1.5—2.0 数量級. 无規定取向組織的鈾的蠕变速率,与其"燃烧"的速率有关.

还报导了直接在堆内拉伸时所測得的鈾的机械性能試驗結果. 甚至在中子場内作短时間(不滿一小时)的停留时,鈾的延伸率也会有些降低,而其强度极限提高.

## 有結构的鈾的长大

有結构的圓柱形的鈾試样,受輻照时其长度增加,而其直径減少,这是裂变材料在中子場作用下最明显的特性之一. 在苏联的論文 [1] 中,对这些效应已經有了詳細的敍述. 同样,英

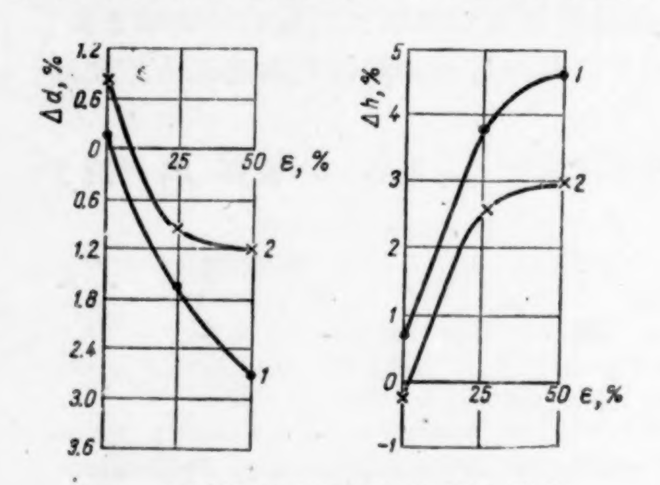



图 1 有結构的圓柱形的鈾試样,其高度变化 ($\Delta h$) 及直径变化 ($\Delta d$) 与它在 $\alpha$-相区的形变程度 ($\varepsilon$) 及晶粒大小的关系

压延溫度: 500°C,燃烧率 0.02%; 1——細晶 (30—40$\mu$); 2——粗晶 (130—150$\mu$).

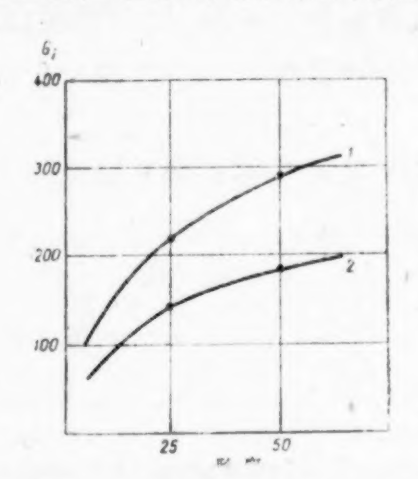



图 2 有結构的鈾的长大系数 $G_i$ 与該金属在 $\alpha$-区域內的形变程度的关系

压延溫度: 500°C,燃烧率 0.02%; 1——細晶; 2——粗晶.

国[2] 和美国[3-5] 学者对这些效应也进行了工作. 在文献 [3] 中介紹了关于晶粒大小及其冷加工时的变形程度对于輻照生长系数 $G_i$ 值影响的数据.

---

* 参加部分实驗工作的同志有: А. Г. Ланин, В. М. Теплинская, В. К. Захарова, Л. Н. Проценко, В. Н. Голованова, К. А. Борисов.

在本文作者們的实驗中所測得的数据，比文献[3]中所介紹的 $G_i$ 值大得多．图1是当燃燒率为 0.02% 时所測得的实驗曲綫，表示着大多数試样高度、及其直径的平均变化值．图2表示不同晶粒度的鈾与其相应的 $G_i$ 值（試样形变率到达 50% 后进行再結晶）．这些数据的測得是借助于特殊設計的远距离控制仪器．

显而易見，輻照生长不仅与形变程度及其經再結晶后的晶粒度大小有关，并且与鈾的化学成份有关．而不同的作者所用的鈾的化学成份是不同的．

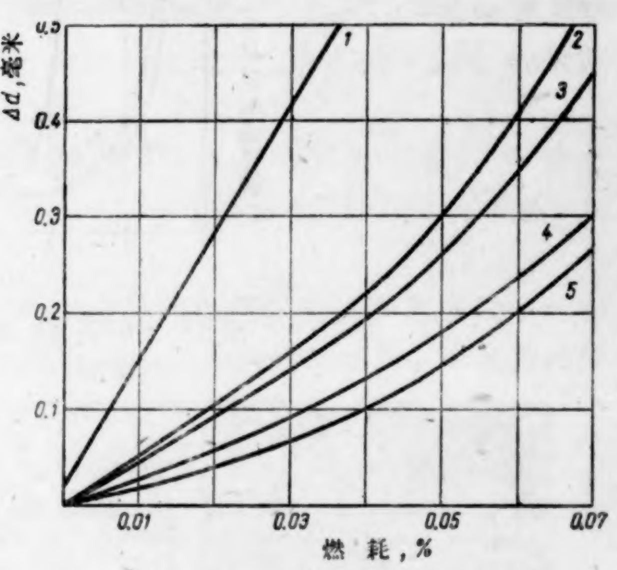



图3　无規定取向組織的、沒有結构的鈾，其直径的变化与热处理和燃燒率的关系
1．鈾—鑄态
2．鈾—从 γ 相水淬
3．鈾—从 γ 相油淬
4．鈾—从 β 相水淬
5．鈾—从 β 相油淬

## 沒有結构的鈾的表面畸变

討論在輻照时鈾的表面畸变現象的論文已經出版了很多．但在这些論文中，只是个別地对表面粗糙度有定量的数据．

图3中的曲綫，是闡明在經过不同处理后的試样，它的直径的增大与其燃燒率之間的关系．根据这些数据可以看到，粗晶粒的鑄态試样由于它相当粗糙，所以其直径的增加是比淬火态細晶粒試样大 2—3 倍．

从 β 相区淬火，比从 γ 相区淬火所得的結果好些．根据金相学研究的观点来看，这是与由 β 相区淬火的金属具有較大的伪各向同性程度（степень квазиизотропии）有关．

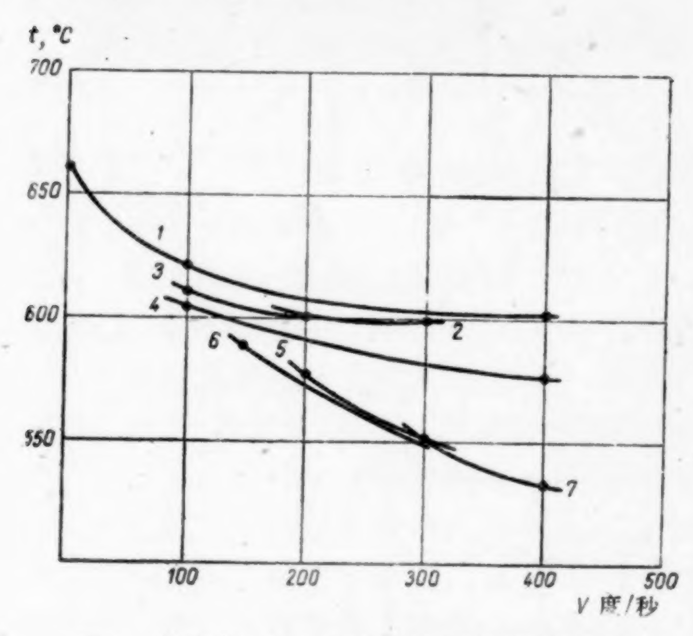



图4　鈾中鉄、硅、鋁的含量及冷却速率对其 β → α 轉变的临界点位置的影响
1．尙未加入合金元素的鈾（鉄——0.007%，硅——0.003%，鋁——0.02%）
2．含 0.05% 鋁的鈾（鉄和硅的含量与1．相同）
3．含 0.02% 鉄的鈾（鋁和硅的含量与1．相同）
4．含 0.035% 鉄的鈾（鋁和硅的含量与1．相同）
5．含 0.05% 鉄的鈾（鋁和硅的含量与1．相同）
6．含 0.035% 硅的鈾（鉄和硅的含量与1．相同）
7．含 0.05% 硅的鈾（鉄和硅的含量与1．相同）

控制鈾的化学成份和热处理条件，可以在很大范围內改变其晶粒的大小以及相应地改变其表面輻照畸变的程度．

## 組份和热处理对鈾的組織和机械性能的影响

在文献[2]中，講到了几种細化鈾的晶粒的方法．其中可以注意的报导是：为了取得必要的淬火效果，鈾中鉄、硅、或鋁的含量应該在 0.05% 左右．但是这些数据只是定量地說明这方面的特征，因为并沒有說明各个元素的作用．

杜維茲（R. Duwez）[6] 研究了純鈾的临界点位置与冷却速率之間的关系，但是沒有解决关于淬火时合金杂質对临界点位置影响的問題．

在目前的工作中，研究了冷却速率以及鈾

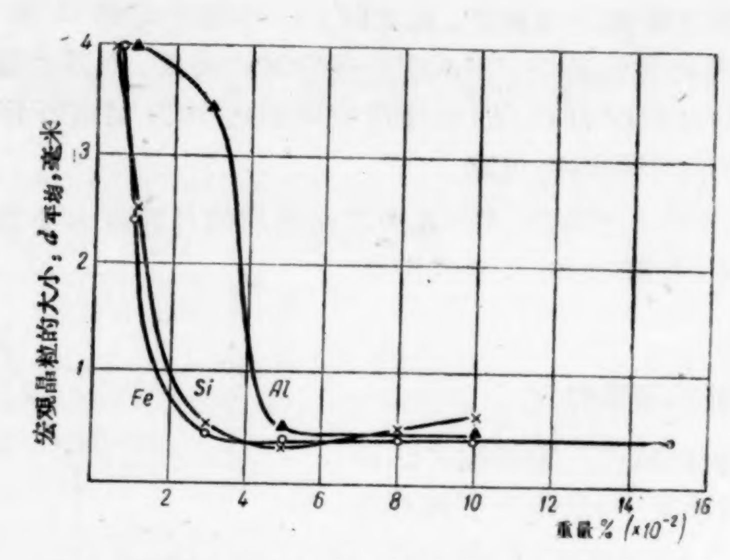
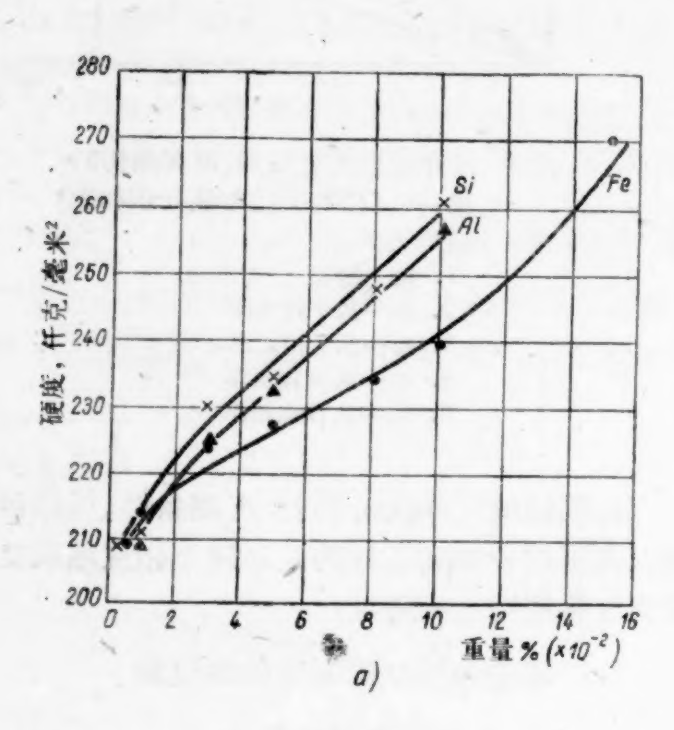
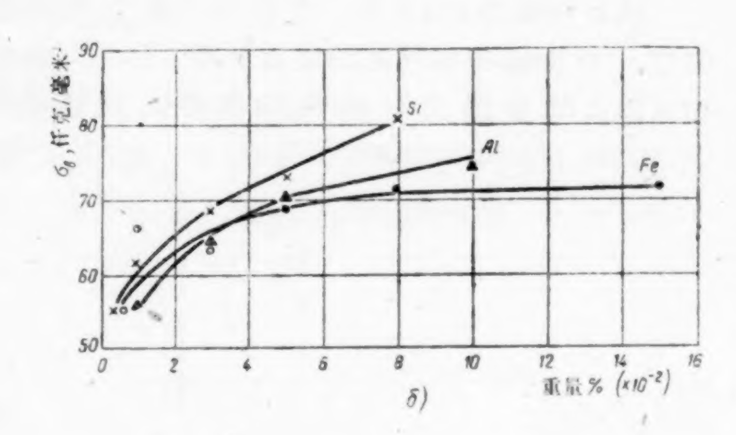



图 5 鈾中鉄、硅、和鋁的含量对其宏观晶粒度大小的影响



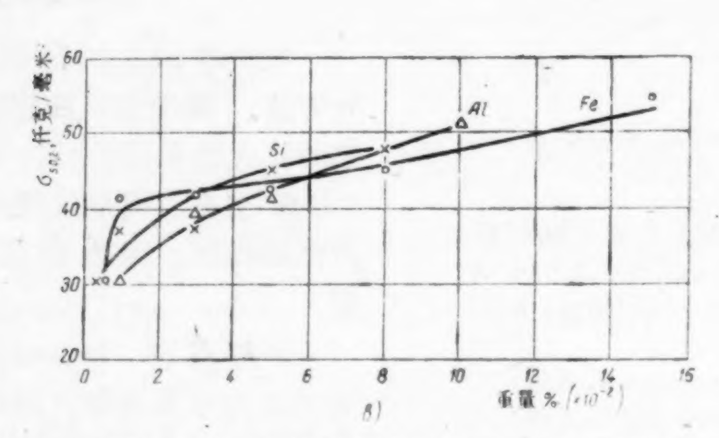



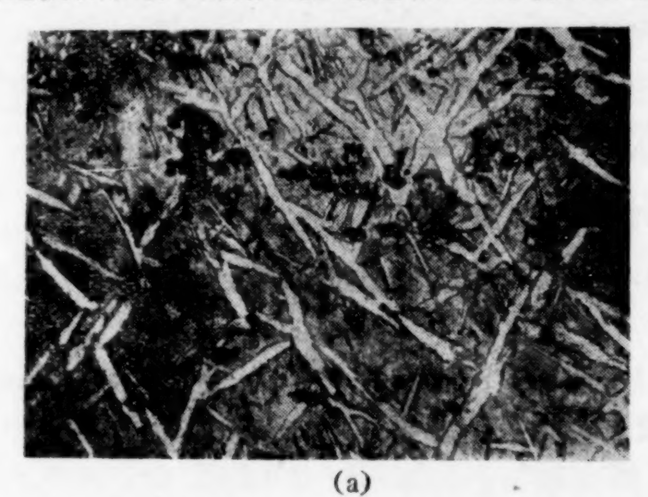

图 6 鈾中鉄、硅、和鋁的含量对其硬度 (a)，强度极限 (б)，和屈服极限 (в) 的影响
試驗溫度：20°C。

中鉄、硅、和鋁的含量对 $\beta\rightarrow\alpha$ 轉变的临界点位置的影响(图 4). 研究工作是用特殊結构的真空电容膨胀仪来做的,并还附有在高速度冷却时能同时記录温度——膨胀曲綫的装置.

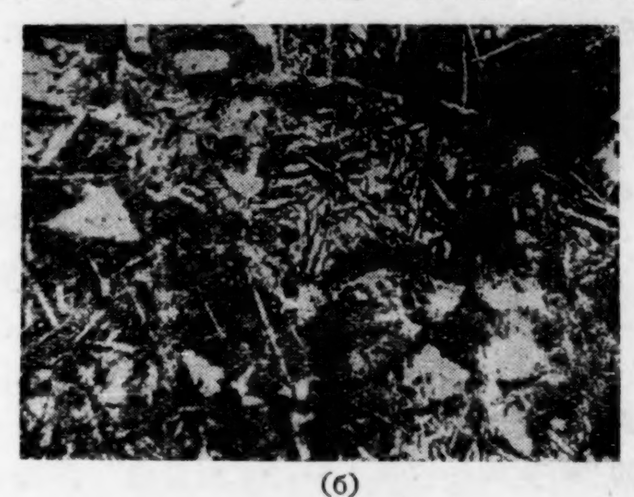
当冷却速率为 200°C/秒时,未經合金化的鈾其 $\beta\rightarrow\alpha$ 轉变的临界点降低到 600°C. 而在冷却速率更高时,它也仍将停留在这一水平上. 它与文献 [6] 中所做的工作是符合的. 鉄、硅以及鋁的加入,使得 $\beta\rightarrow\alpha$ 的临界点随着这些元素的含量的增加而連續地降低. 但鋁影响程度較小,例如:含 0.05% (重量比) 硅的合金,在 400°C/秒的冷却速率下,其 $\beta\rightarrow\alpha$ 的临界点降低至 530°C. 显然,在冷却时临界点的降低是淬火时形成細晶粒无規定取向的 $\alpha$ 相組織的原因之一.

图 5 表明在 100°C/秒左右的冷却速度条件下,鈾晶粒大小的变化与鉄、硅和鋁的含量之間的关系. 从这些曲綫可以看出,在該冷却速率下,加入 0.02—0.03% (重量) 的鉄或硅,和 0.05% (重量) 鋁就能达到最細的晶粒度.

在图 6 指出,随着鈾中鉄、硅、和鋁的含量的增加,淬火态鈾的硬度和強度都有增长. 并着重地指出:与反映晶粒度迅速細化的曲綫不同,随着上述元素在鈾中含量的增加,淬火态鈾的



(a)



(б)

图 7 (a) 含 0.15 (重量) % 鉄的鈾合金,經从 $\gamma$ 相冰水淬火后的显微組織
(б) 在室温經过一个月,上述淬火状态的合金发生析出过程后的显微組織

硬度和強度都連續地上升(除了含鉄的合金的強度曲綫以外). 显而易見,硬度和強度的增加不仅是决定于晶粒度的大小,而且是与其晶粒本身以及其晶界的強度有关.

X 射綫照象分析法确定:含 0.10—0.15% 鉄的鈾,在用冰水淬火以后,能部分地或全部地固定 $\beta$ 相. 这种金属,其組織的特征就是由 $\beta$ 相中析出針状的 $\alpha$ 相(图 7 a). 事实上,$\beta$ 相在室温經过一个月以后将会全部分解. 同时,在淬火条件下,含 0.15% 鉄的鈾合金,其 $\beta$ 相过冷稳定性与含鉻的鈾合金[6] 的 $\beta$ 相比較起来要差得多. 但是,对完成了 $\beta$ 相分解后的試样用显微鏡进行研究,发現初次的針状 $\alpha$ 相很明显地存在着(图 7 б). 这証明了在淬火状态的金属中,鉄的分布是不均匀的.

根据研究含鉄量低于 0.15% 的 $\alpha$ 相淬火鈾合金的 X 射綫照片,其中 $\alpha$ 相衍射綫条的加寬証明了鉄在鈾中的很不均匀的分布(图 8). 当含鉄量还不能滿足在淬火后固定 $\beta$ 相的情况下(低于 0.1%),就能够直接观测到該合金在淬火后

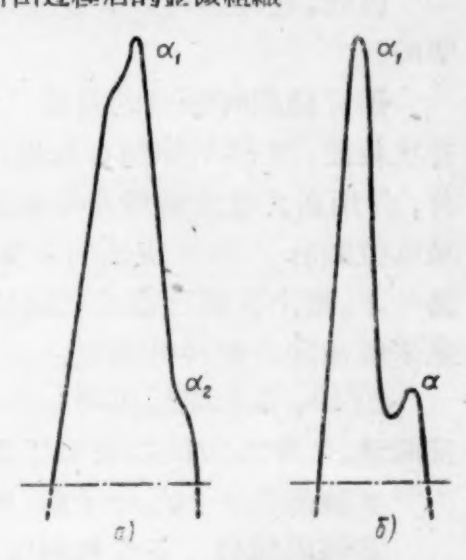



图 8 含 0.1% 鉄的鈾合金,(*a*) 經从 $\gamma$-相冰水淬火后的 (*б*) 并再經 950°C 退火 3 小时后的、面指数为 (152) 的繞射綫强度曲綫 (фотометрические кривые)

其綫条加寬，并且是随着含鉄量的增加而加寬．含 0.15% 鉄的合金，在淬火后其綫条的加寬并不很明显．但是，随着 $\beta$ 相的分解而逐步加寬．

在含 0.1—0.15% 鉄的合金中，除了綫条变寬以外，还发現有不大的分裂，大角度的反射綫条相当明显地分裂成二个高峯（图8a）．分析了綫条的变寬程度与反射角之間的关系后，指出：这与金属組份的不均匀性或微观应力有关．但是，在 630°C 退火一小时的除应力处理，也只是部份地减少了綫条加寬．所以应該用 $\alpha$ 相組份的不均匀性来解释綫条的分裂和作为加寬綫条的主要因素．



图 9 含 0.15% 鉄的鈾合金經 850°C 退火 1 小时，炉內緩冷后的显微組織

加入物（包括鉄在內）分布的不均匀性也可能是由淬火以前的加工所引起的．已經指出，尤其是含 0.15% 鉄的鈾合金，在 $\gamma$ 相区退火并随后緩慢冷却，就会引起加入物的偏析．从基体析出来的加入物形成网絡状，并且与 $\alpha$ 晶界无关．故可以設想它是在合金冷却过程中，沿着长大后的 $\beta$ 相界形成的（图 9）．

所得到的这些資料，无論从鈾的热处理理論观点和从它的实践观点看来都是相当重要的．由于含鉄量的局部增高可以使 $\beta$ 相在淬火时固定下来，而因此引起金属的脆性增加．

## 鈾在輻照时的蠕变

在文献 [1] 的記載中，首先发現鈾受輻照时有特别大的加速蠕变．（約为 50—100 倍，即 1.5—2 个数量級）

应該指出，在文献 [8—10] 中，以及短評 [11] 中都沒有注意到这一事实．考屈尔（Cottrell）和罗勃茨（Roberts）在 [8—9] 中报导苏联学者康諾别也夫斯基等同志的工作．但把原文中所述的"蠕变的加速是 1.5—2.0 数量級"，誤释为"蠕变的加速仅为 1.5—2.0 倍"，所以他在确定鈾加速蠕变的特征时与实际值有偏差．

因此，在輻照时鈾蠕变显著加速的效应（包括在极小負荷下的蠕变）首先是由苏联学者闡明的．

**研究輻照时蠕变的方法** 为了要在中子場中研究試样的蠕变，我們用了一个特殊設計的管状装置，直接引伸到石墨慢化剂热中子反应堆的活性区．借气体压力的方法来对試样加負荷，并用高灵敏度的桥路电感发送器来測量其形变．温度測量是用銅-康銅热电偶的自动記录电位差計．在反应堆的温度条件下进行实驗．有时，用专門准备着的螺旋状加热器稍微加热一下，整个实驗过程是在經純化处理后的氦气下进行的．在堆外也用同样的管状装置，来研究未經輻照的試样的蠕变．

图 10，是示意地說明一下我們用来做蠕变实驗的管状装置．它的負荷測量、形变測量、温度測量、气体压力的控制等等都是远距离操纵的．

实驗是在 $6\cdot10^{12}$ 中子数/厘米$^2$ 秒的热中子流中进行的．

**实驗用試样** 在受輻照的条件下及不受輻照的条件下进行蠕变試驗用的試样（直径 2 毫米，长 70 毫米的金属絲），其情况如下：

鈾——鑄造．

鈾——在 $\beta$ 相退火．

鈾——从 $\beta$ 相淬火．

鈾——在 $\alpha$ 相区域內压延．

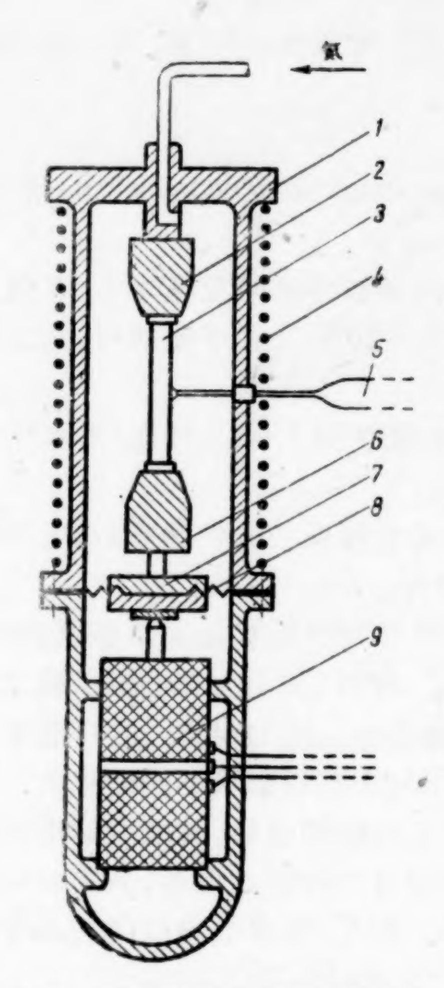



图 10 研究鈾在輻照下蠕变用的管状装置的示意图

1. 外壳 2. 上夹头 3. 試样 4. 加热器 5. 热电偶 6. 下夹头 7. 可动的活塞(滑块) 8. 薄膜 9. 电感发送器.

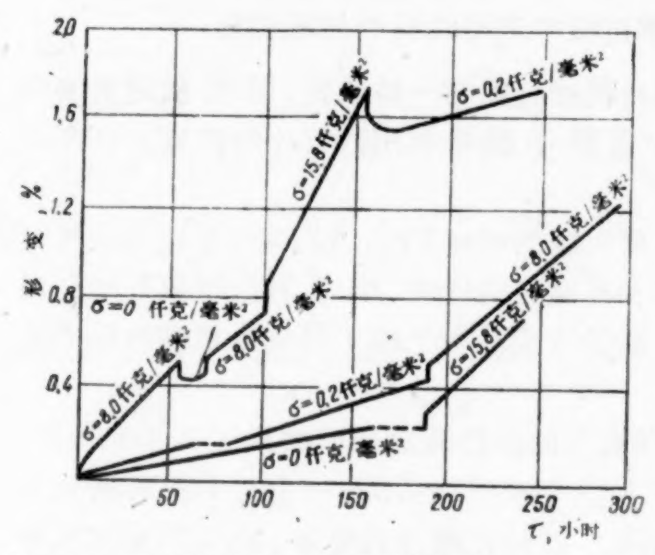



图 11 有結构的鈾在輻照时的蠕变

($nv=6\cdot10^{12}$中子数/厘米²秒; $T=220°C$)

图中的虚綫表示在試驗过程中遇到的停堆期.

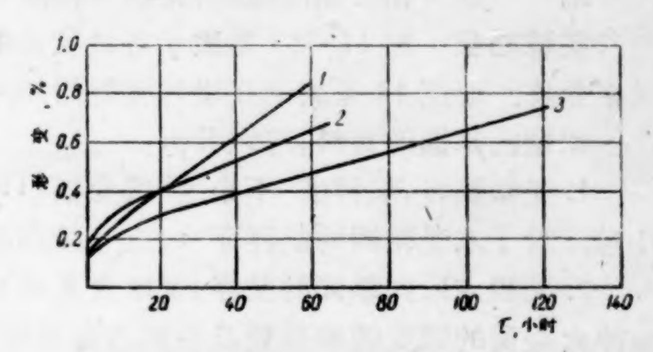



图 12 蠕变与热处理的关系 ($nv=6\cdot10^{12}$中子数/厘米²秒; $T=220°C$; $\sigma=15$仟克/毫米²)

1. 鈾——不淬火 2. 鈾——从 $\beta$ 相用水淬火 3. 鈾——从 $\gamma$ 相用水淬火.

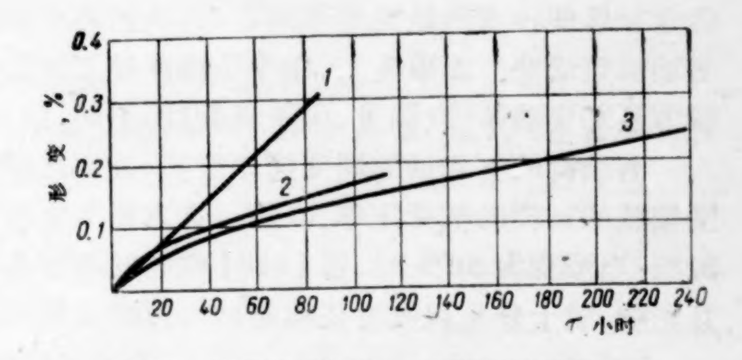



图 13 不同状态的鈾，在輻照时的蠕变 ($nv=6\cdot10^{12}$ 中子数/厘米²秒; $T=280°C$; $\sigma=0.2$ 仟克/毫米²)

1. 鈾——在 500°C 压延，变形程度为 50% 2. 鈾——从 $\gamma$ 相用水淬火 3. 鈾——在 $\beta$ 相退火.

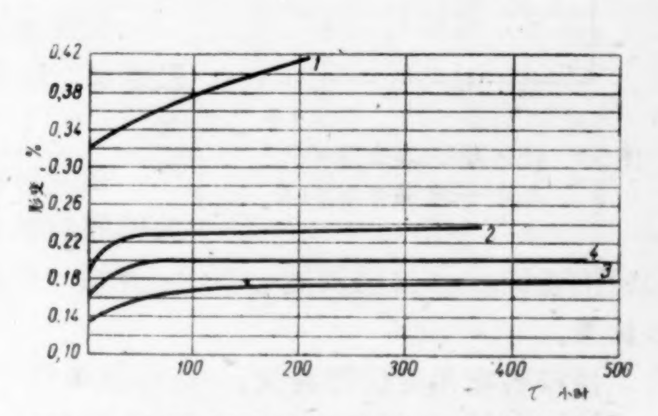



图 14 未經受輻照的、不同状态的鈾的蠕变 ($T=20°C$; $\sigma=15$仟克/毫米²)

1. 鈾——不淬火 2. 鈾——从$\beta$相用水淬火 3. 鈾——从 $\gamma$ 相用水淬火 4. 鈾——在 500°C 压延，变形程度为50%.

鈾——在 $\alpha$ 相区域内压延，并經再結晶处理.

**实驗結果** 图 11—13 是表示各种状态的鈾，在不同压力和温度条件下，其形变与时間的关系曲綫. 而图 14 是表示在堆外測得的相应的曲綫.

根据已掌握的資料，可以看出：

1. 受輻照时，試样的“不稳定”蠕变期 (Период неустановившейся ползучести) 是 10—30 小时. 对于未受輻照的試样而言，这一段期間是 200—400 小时.

2. 无規定取向組織的試样，其蠕变速率比未受輻照的同类試样的蠕变速率大 50 倍. 細晶粒淬火金属的蠕变速率是粗晶粒鑄态金属蠕变速率的 10%—20%. 在受輻照时，这二者之間的比值減少到 1.5—3，亦即这二者之間的差別被“拉平”了.

3. 輻照时蠕变加速 50—100 倍. 这一現象既出現在小应力 (0.2—0.5 仟克/毫米$^2$) 的条件下，也出現在 15 仟克/毫米$^2$ 的应力条件下.

4. 压延变形程度为 50%、并在 $\alpha$ 相区內退火的鈾，除去其輻照长大的速率后，它的蠕变速率比未經輻照的同一材料的蠕变速率大 50 倍. (参閱图 11)

在小負荷下实驗測得的蠕变速率数据，証实了文献 [9] 中用螺旋状金属鈾絲所做的实驗. 但是和这些作者的数据有不同之点，我們并不是在經过 $t_m$ 时間 (考屈尔的推論) 后才发現显著地加速蠕变. 而事实上，在中子場开始工作后，立刻就会产生上述的現象. 这可能是由于实驗方法和实驗条件(温度、中子場强度)不同，以及試样的原始状态和形状不同的緣故.

有結构的 $\alpha$ 相鈾的蠕变速率很高，甚至在減去了輻照长大的因素后，其蠕变速率仍超过未受輻照的試样的蠕变速率 50 倍. 这方面不能用考屈尔的論点来解释. 但是，从这一結果可以說明：当形变为 50% 时，按 [010] 取向的晶粒是不够多的. 因此，具有不同取向的晶粒間的相互影响，就十分足以成为在輻照时加速蠕变的主要条件.

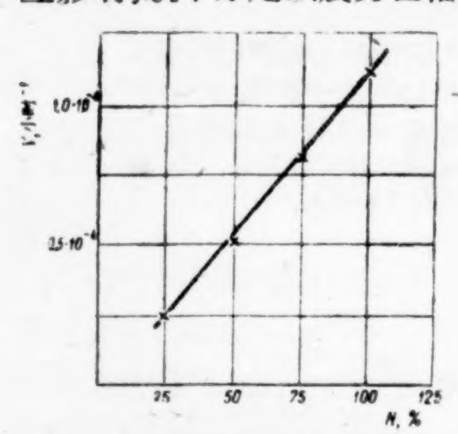


图 15 鑄态鈾的蠕变速率 $v$ 与中子流强度 $N$ 的关系

无規定取向組織的鈾，其蠕变速率与燃燒速率之間的关系列于图 15. 該图是根据最近在研究淬火状态无規定取向組織的鈾时描繪出来的. 同时，証实了考屈尔对于蠕变和輻照长大系数之間关系的理論性总結.

## 在輻照过程中測得的鈾的机械性能

探討鈾在輻照时机械性能的一些問題，具有极重要的实践意义，与它在作为原子燃料利用过程中的热应力作用有关.

在到目前为止所出版的文献 [1,3,12] 中，介紹了一些有关輻照后鈾在室温和高温时的性能；但是并沒有报导鈾在輻照时的性能. 本文的最后一节中，介紹一些直接在原子反应堆中子場中研究鈾机械性能的某些結果.

进行研究用的仪器装置，与在輻照条件下研究蠕变用的仪器装置相似而只有极小的差异，即：将其对形变的測量限度扩大至 20 毫米. 按恒定的速率来增加負荷，一直达到試样断裂为止. 試样本身是直径为 2 毫米、长为 70 毫米的金属絲. 試样在堆內的停留，以及試驗时試样拉断所須的总共时間約为 30—60 分鈡. 这些研究結果列于图 16.

这些資料闡明：甚至在中子場內停留很短的时間 (不足 1 小时)，鈾的延伸率也会有一定程度的降低，并且强度极限会有提高.

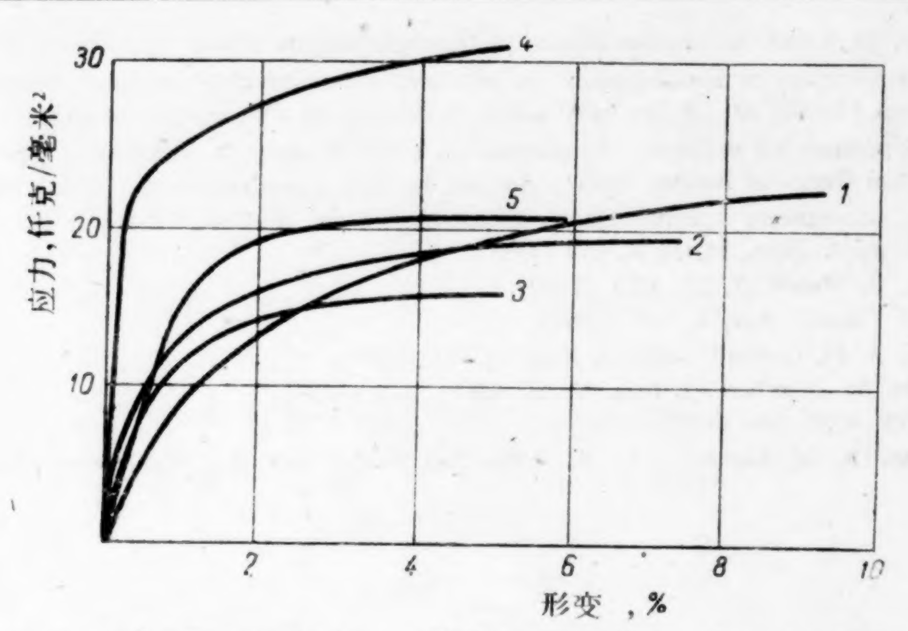



图 16 研究未受輻照的 (1, 2, 3) 及在輻照时的 (4, 5) 鈾試样所得到的应力-形变曲綫
($nv = 6 \cdot 10^{12}$ 中子数/厘米² 秒; $T = 220$°C)

受輻照时的及未受輻照的鈾的机械性能

| 試驗条件 | 試驗溫度, °C | 試驗持續时間*, 分 | 強度极限 $\sigma_B$, 仟克/毫米² | 延伸率 $\delta$, % |
|---|---|---|---|---|
| 未受輻照的<br>未受輻照的 | 20<br>20 | 8<br>10 | 46.2<br>48.0 | 7.7<br>9.5 |
| | 平均值 | | 47.1 | 8.6 |
| 未受輻照的<br>未受輻照的 | 153<br>150 | 29<br>28 | 27.3<br>27.3 | 12.8<br>8.9 |
| | 平均值 | | 27.3 | 10.8 |
| 未受輻照的<br><br>未受輻照的 | 200<br>200<br>200 | 56<br>55<br>55 | 20.7<br>21.8<br>20.4 | 5.0<br>6.9<br>6.8 |
| | 平均值 | | 20.9 | 6.2 |
| 受輻照时的<br>$nv = 1.5 \times 10^{13}$ 中子数/厘米² 秒 | 150<br>150 | 27<br>25 | 35.6<br>31.8 | 9.0<br>8.4 |
| | 平均值 | | 33.7 | 8.7 |
| 受輻照时的<br>$nv = 1.5 \times 10^{13}$ 中子数/厘米² 秒 | 200<br>200 | 56<br>56 | 20.4<br>30.6 | 6.3<br>4.9 |
| | 平均值 | | 25.5 | 5.6 |

* 譯者按: 該試驗持續时間是指拉伸試样至断裂所須的时間.

(青譯)

## 参 考 文 献


[1] С. Т. Конобеевский, Н. Ф. Правдюк, В. И. Кутайцев: Исследования в области геологии, химии и металлургии. Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Изд. АН СССР, 1955, стр. 263.

[2] S. F. Pugh: Damage Occuring in Uranium during Burnup. Доклад № 443, представленный Англией на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955.

[3] S. H. Paine, I. H. Kittel: Irradiation Effects in Uranium and its Alloys. Доклад № 745, представленный США на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955.
[4] Frank G. Foote: Physical Metallurgy of Uranium. Доклад № 555, представленный США на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955.
[5] I. P. Howe: Metallurgy of Reactor Fuel. Доклад № 825, представленный США на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955.
[6] R. Duwez: *J. Appl. Phys.* **24**, № 2, 152 (1953).
[7] D. W. White: *J. Metals.* **7**, 11, 1221 (1955).
[8] A. H. Cottrell: *Metals Rev.* **1**, 479 (1956).
[9] A. C. Roberts, A. H. Cottrell: *Philos. Mag.* **1**, 711 (1956).
[10] H. C. Rose, M. Sc. Member: *J. Inst. Metals* **86**(3), 122 (1957).
[11] *Engineering* **183**, 4750, 380 (1957).
[12] R. E. Hueschen, R. S. Kemper, W. S. Kelly: 2nd Nucl. Eng. Sci. Conference, Paper 57—NESC—13, USA, 1957.

# 建造反应堆用的鈾鉬合金

（綜 述）

卡拉什尼柯夫 (B. B. Калашников)
提 托 娃 (B. B. Титова)
謝尔盖也夫 (Г. Я. Сергеев)
沙莫依洛夫 (А. Г. Самойлов)

## 导 言

世界各国已建成的和已設計的原子反应堆，包括动力堆、运輸工具用堆以及生产（производящий）堆和两用堆，大多数都采用以鈾为基的释热元件[1].

但是利用純鈾来制造释热元件的可能性在很大程度上为它的性质所限制．由 $\alpha$ 鈾的复杂斜方晶格所决定的明显表現出来的各向异性，再加上高温下的相对較低的强度指标，使得制件在中子輻照和周期性温度变化的作用下形状发生显著的变化．在 ～660 和 ～770°C 的温度鈾中进行同素异形轉变，同时发生体积变化，因此不止一次地加热和冷却通过这些温度并发生轉变就引起燃料块的初始組織、形状和尺寸发生严重的破坏（图 1）．此外，作为一个化学性活泼的材料，鈾具有弱的抗腐蝕和抗侵蝕稳定性，特别是在水中．

采用热处理或者某些其他工艺措施，可以在反应堆的工作条件下在鈾中建立比較稳定的細晶粒伪各向同性組織，但不能完全解决鈾的輻照破坏問題，也不能使原子核装置的效率显著提高．更根本的解决提高原子反应堆中燃料的冶金性能稳定这一任务的办法是利用鈾合金，它要能在室温下保持鈾在高温下的 $\gamma$ 相的各向同性体心立方晶格．

在这种类型的系中目前研究得最多的是鈾与鋯、鉬和鈮的二元合金．

本文綜合論述已发表的关于鈾鉬合金的性质的資料以及采用鈾鉬合金作为非均匀原子反应堆的释热元件的燃料材料的情况．

## 鈾鉬合金的基本性质

合金在試驗条件或工作条件下的性质首先决定于其成分和組織．因此我們来研究一下若干由鈾鉬系平衡图（图2）引出的数据．

在高温下鉬在寬范围內溶于鈾中，而它在 $\alpha$ 相中的溶度則很小．即使是少量的鉬就剧烈降低 $\beta$ 相存在的温度区域，加入 3%（重量）的鉬就能完全避免生成 $\beta$ 相．在含鉬多（大于 7%）的合金中，易于在室温下固定亚稳定的 $\gamma$ 相，它具有体心立方晶格和各向同性的性质．将这种合金在350—550°C的温度間隔內回火就发生 $\gamma$ 相变为 $\alpha$ 鈾与金属間化合物 $U_2Mo$ ($\gamma'$相）的共析混合物的轉变[3]．但是这个过程进行得很緩慢，为了使轉变完全，需要很长的保持时間[4]．作为例子，图 3 中引用了鈾与9%（重量）鉬的合金的 C-曲綫图．

图中曲綫 I 相应于 $\gamma$ 相分解的开始，而曲綫 II ——分解的終了．当加热到更高的温度（高于 600°C）时完成共析产物反变为 $\gamma$ 相的轉变．

鈾-鉬平衡图的性质說明了，通过鉬含量与合金热处理規范的改变，有可能在寬范围內改变加了合金元素鉬的鈾的相組成，組織，并因而改变物理和机械性能．这个結論为以下所引数

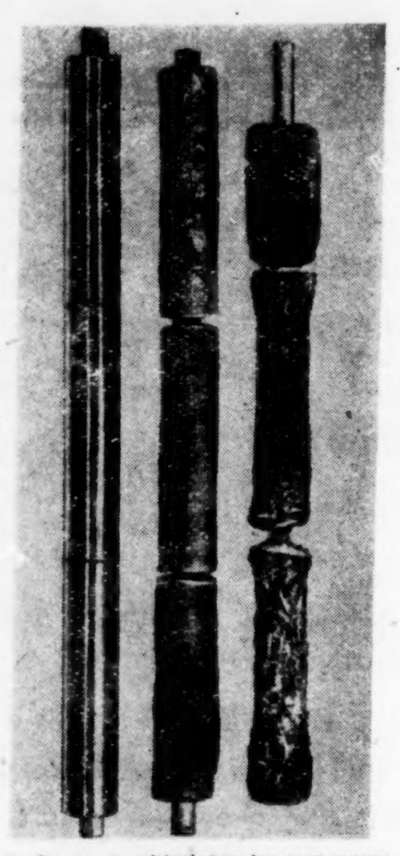


图1.　在 $\alpha-\beta$ 轉变温度时受到循环热处理的鈾試样的外观[2]。

a——在循环热处理以前；

б——在100次循环之后；

в——在350次循环之后。

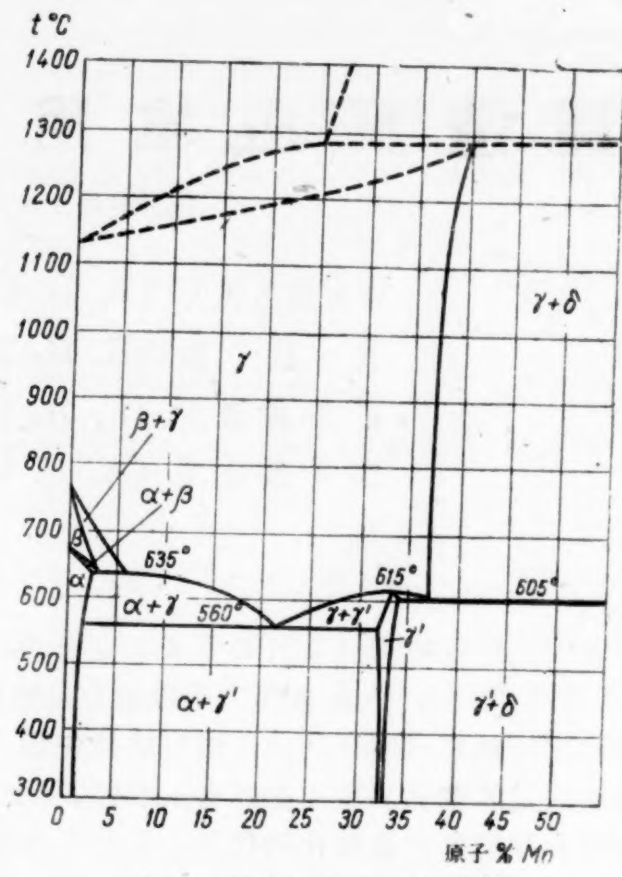



图2.　鈾 錳 系 平 衡 图[5]。

据所証明。

鈾錳合金的制备可按下述工艺过程进行[6]：

1）将鈾与錳在眞空感应炉中直接熔合并浇入石墨模中；

2）双重法——眞空感应熔炼然后将得到的錠用电弧重熔；

3）在鈾的还原熔炼过程中。

在感应熔炼中采用石墨的鑄造装置（坩堝，塞子，錠模）。在实驗室条件下进行的量不大的熔炼中，为了避免強烈的加碳作用，最好采用复蓋有氧化鋯或氧化鈹的石墨器具。在某些情况下还采用氧化鋯或氧化鈹的坩堝和有冷却的錠模。

用双重熔炼法可以使合金中的錳含量达到最均匀。比如，在用双重法鑄造时，直径 50 毫米、长度 675 毫米的含錳 12% 的合金鑄錠中錳含量在 11.8—12.1%（重量）的范围內波动。

当采用还原性熔化鈾的过程制备合金时，虽然以后不重熔，錳的分布情况也是完全令人满意的。

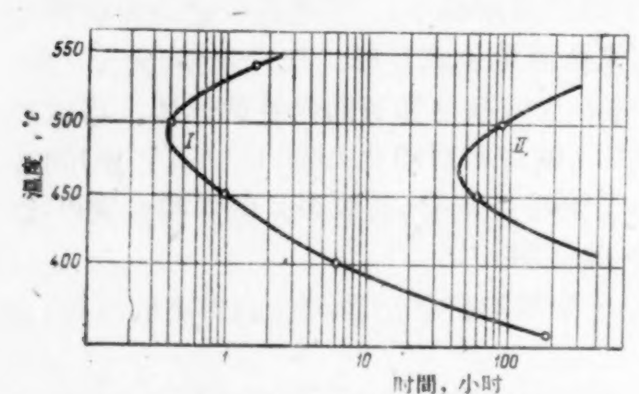



图3.　鈾与9%（重量）錳的合金的 C-曲綫图[3]。

由于強度指标非常高，鈾錳合金不能承受多种类型的冷加工，但是一般說来，他們可以在 γ 区温度在热态很好地进行加工。将合金制成制品可以用热压，模鍛，鍛造和輾压的方法。与錳含量低的合金相比，錳含量高（大于7%）的合金須在更狹窄的固定的温度間隔內进行加工。关于这一点可以用在这些合金中所观察到的屈服极限与強度极

限特别接近来解释.

在文献 [6] 中提到以下的用于鈾与 12% (重量) 鉬的合金的加工规范. 鍛造温度 1065°C (在氯盐浴中加热).

板的軋制在 925—1035°C 时进行,但是这个方法的生产率很低,原因是毛坯冷却很快. 压制在 885—968°C 的温度进行;采用普通的以石墨为基的潤滑剂作为潤滑材料.

在文献[7]、[8]中叙述了由粉末制备合金試样的方法:

a) 将鈾和鉬的粉末混合物冷压然后在 1100—1150°C 温度烧結;

б) 将所制备的合金粉末热压.

冷压并烧結的合金的密度与鉬含量的关系列于表 1.

表 1 冷压并烧結的合金的密度与鉬含量的关系[8]

| Mo 含量,% (重量) | 密度,克/立方厘米 | 附 註 |
|---|---|---|
| 1 | 18.69 | 所列的是 |
| 9 | 17.18 | 密度的平 |
| 10 | 16.84 | 均值 |
| 12 | 16.70 | |

由以上所述可以看出,尽管由于可以对合金进行加工的高温間隔狭窄而造成困难,鈾鉬合金仍具有广闊的加工的可能性.

**若干鈾鉬合金的机械性能** 在以下所引的表 2—6 中列入了一系列鈾鉬合金的机械性能指标与其成分、制造工艺、热处理和試驗温度的关系. 为了便于比較起見还列入了某些鈾的数据.

表 2 室溫下鉬含量对鈾合金的强度性能的影响[2]

| 合 金 | 強度极限,公斤/平方毫米 | | 屈服极限,公斤/平方毫米 | | 延伸率,% | | 冲击韌性,公斤公尺/平方毫米 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 下限 | 上限 | 下限 | 上限 | 下限 | 上限 | 下限 | 上限 |
| 鈾 | 41.0 | 72.0 | 14.7 | 27.9 | 18 | — | 3.1 | 6.6 |
| 含 0.5%(重量) Mo 的合金 | 69.0 | 128.5 | 33.3 | 64.5 | 6 | 43 | 0.5 | 2.6 |
| 含 1.0%(重量) Mo 的合金 | 80.0 | 135.0 | 37.2 | 96.0 | 2 | 31 | 0.7 | 2.3 |
| 含 2.0%(重量) Mo 的合金 | 74.5 | 133.0 | 37.2 | 133.0 | 0.2 | 21 | 0.4 | 3.1 |

表 3 鈾鉬合金的机械性能与溫度的关系[2]

| 合金中的鉬含量,%(重量) | 合金的状态 | 強度极限(公斤/平方毫米)/相对延伸率(%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 試驗溫度, °C | | | | | | |
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 600 | 700 | 800 |
| 无 | 鑄态鈾, | — | 31.3/24.0 | 23.7/30.0 | 10.8/28.0 | 5.7/42.0 | 9.0/13.0 | — |
| 2.2 | 試样系軋 | 56.0 | — | — | — | — | 3.7/66.5 | 2.8/81.0 |
| 4.6 | 出, 随后 | — | 59.5/12.0 | — | 50.5/5.0 | 19.2/7.0 | — | — |
| 6.6 | 在 900°C | — | 66.0/4.0 | 66.5/6.5 | 67.5/3.0 | — | 4.0/70.0 | 1.7/94.0 |
| 7.8 | 水淬,在 | — | 59.5/6.0 | — | 55.0/9.0 | 38.8/5.0 | — | 6.4/69.0 |
| 10.0 | 900°C保 | — | 59.0/0.5 | — | 40.5/1.0 | 19.8/— | — | 6.4/30.0 |
| 10.9 | 持7天 | — | — | — | 39.5/0.5 | 14.5/0.5 | 16.4/1.0 | 10.2/6.0 |

由表中数据可看出,随着鉬含量增加,合金的強度指标上升而塑性降低. 而且表現出屈服极限值与強度极限値相接近的趋势, 这种現象在含 12% 鉬的合金的例子中表現得特別明显. 在所有的試驗温度(除了 $t = 700$°C,这时鈾处于 $\beta$ 相状态)含 2—10%(重量)鉬的合金的強度比鈾的強度大 3—5 倍. 含 2—8% (重量)鉬的合金的塑性在 $\gamma$ 区温度时急剧的提高提供了很大的实际兴趣. 塑性高同时硬度低使它們的热加工条件改善了.

由表 4 中所列数据还可以看出,在 500°C 回火的过程中所发生的 $\gamma$ 相分解而形成 $\alpha + \gamma'$

表 4 含 12% (重量) 鉬的合金在高温下的机械性能与热处理方式的关系[9]

| 合金的热处理 | 試驗温度, °C | $\sigma_{0.2}$, 公斤/平方毫米 | $\sigma_B$, 公斤/平方毫米 | $\delta$, % | $\psi$, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 加热到 900°C | 260 | 72.0 | 73.1 | 6.9 | 50 |
| 保持 24 小时 | 315 | 75.2 | 76.0 | 3.6 | 23 |
| 水淬 | 371 | 68.9 | 72.0 | 4.3 | 23 |
| 同上处理，另加在 500°C 时效 3 小时…… | 315 | 72.5 | 73.1 | 5.8 | 45 |
| 同上处理，另加在 500°C 时效 37 小时…… | 260 | 80.1 | 81.5 | 5.2 | 37 |
| | 315 | 80.1 | 83.0 | 5.3 | 32 |

表 5 鈾鉬合金的蠕变試驗結果[9]

($T_{試} = 815°C$, $\sigma = 0.35$ 公斤/平方毫米)

| 合金中的 Mo 含量, %(重量) | 試驗时間, 小时 | 最小蠕变速度, %/小时 | 无破坏时的延伸率, % |
|---|---|---|---|
| 4.8 | 6.9 | 2.16 | 15.1 |
| 7.5 | 160 | $3.4\times10^{-2}$ | 4.5 |
| 7.8 | 166 | $5.2\times10^{-2}$ | 7.5 |
| 12.3 | 172 | $1.4\times10^{-2}$ | 3.6 |
| 13.3 | 191 | $2.3\times10^{-3}$ | 1.1 |
| 13.3 | 337 | $8.0\times10^{-5}$ | 0.1 |

表 6 冷压烧結并急冷的鈾鉬合金在室温下的机械性能[8]

| Mo 含量, % (重量) | 試样的密度, 克/立方厘米 | 屈服极限, 公斤/平方毫米 | 強度极限, 公斤/平方毫米 | 相对延伸率, % | 維氏硬度, 公斤/平方毫米 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.8 | 18.44 | 48.5 | 85.8 | 6.0 | 279 |
| 1.0 | 18.19 | 62.6 | 83.7 | 4.0 | 279 |
| 1.4 | 18.41 | 70.3 | 96.0 | 5.5 | 296 |
| 2.0 | 18.20 | 61.2 | 94.9 | 4.0 | 306 |
| 3.0 | 18.04 | 71.0 | 101.9 | 1.5 | 335 |
| 3.5 | 17.96 | — | 103.3 | — | 367 |
| 4.0 | 17.94 | 95.6 | 116.8 | 1.0 | 392 |

表 7 鈾和鈾鉬合金在 100—550°C 温度間隔內进行循环热处理的結果[10],[12]

| Mo 含量, % (重量) | 試样的制造工艺 | 延伸率, % | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 50 循环 | 100 循环 | 300 循环 | 700 循环 |
| 无 | 在 600°C 軋出并在 575°C 退火 | 0.9 | 1.8 | 5.7 | 11.6 |
| 0.39 | 同上 | 1.5—1.67 | 3.55—3.70 | 11.1—11.4 | 20.7—21.5 |
| 0.40 | 同上 | 1.37—1.40 | 3.00—3.12 | 8.4—8.6 | 15.0—15.2 |
| 0.79 | 同上 | 0.33—0.57 | 1.24—1.58 | 4.9—5.5 | 10.4—10.8 |
| 2.12 | 在 800°C 軋出，在 850°C 淬火并在 575°C 退火 | 0 | 0.03 | 0.13—0.22 | 0.26—0.35 |
| 3.91 | 同上 | 0 | 0.03 | 0 | −0.03 |
| 6.52 | 同上 | −0.05 | −0.03 | −0.04 | −0.09 |

共析混合物使得含12%(重量)鉬的合金強度提高．文献中关于鈾及其合金的蠕变性能的資料极为有限，原因在于要在不使試样氧化的条件下(高眞空或惰性气体)进行長时間的試驗是一件复杂的工作．表5中所列数据是对以下試样进行試驗而得到的．試样在感应电炉內鑄入石墨模中然后在900—1200°C的温度軋制．含13.3%(重量)鉬的合金具有最大的蠕变抵抗力．

**鈾鉬合金在循环性加热和冷却作用下的尺寸稳定性** 鈾鉬合金在循环加热和冷却作用下的性状在文献[8]、[10]中闡述得最完全．这两个研究报告的作者們在100—550°C(表7)和200—720°C(表8)的温度間隔內研究了合金的尺寸稳定性．直径9.5毫米、長度38.1—101.6毫米的試样，放在不銹鋼制的外壳中(試样与外壳間的縫隙塡充以鈉-鉀合金)，經受循环热处理，用感应方法进行加热，加热时間5—7分，冷却时間20—25分．

图4表示若干試样在700次循环后的外观．

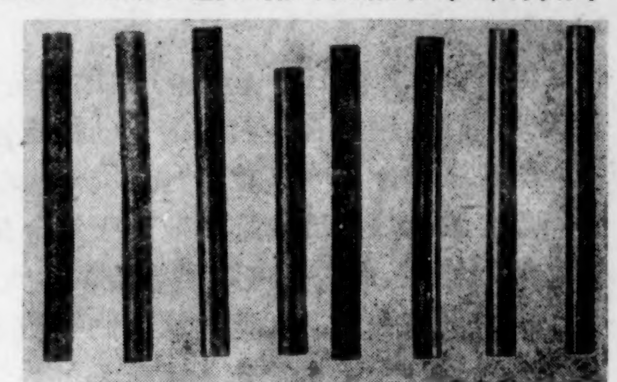



图4．鈾和鈾鉬合金在100—550°C温度間隔內进行循环热处理后的外观．
試样曾預先在850°C淬火并在575°C退火[10]．鉬含量——%：
а——0.00；б——0.05；в——0.10；
г——0.20；д——0.46；е——2.12；
ж——3.91；з——6.52．

表7和表8中所列数据証明了，当在α区特别是在高温范围(200—720°C)內进行循环热处理时，一系列的鈾鉬合金与鈾相比具有非常高的尺寸稳定性．当合金中鉬含量大于3%(重量)时，尺寸稳定性提高最快．

**鈾鉬合金的輻照稳定性．** 到目前为止，苏联和外国的学者們已发表了整个一系列的文章来闡述鈾鉬合金的輻照稳定性．其中首先应当指出康諾別也夫斯基的工作[3]、[11]、[13]和文献[7]、[14]．

表8 由各种方法制成的鈾鉬合金受到循环热处理后的結果[8]
(循环的温度間隔为200—720°C，循环次数为500)

| Mo含量，%(重量) | 制造工艺 | 試样直径，毫米 | 長度变化，% | 直径变化，% | 密度，克/立方厘米 | | 在500次循环后試样的状态 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 初始的 | 終了的 | |
| 无 | 經受β处理 | 9.5 | 9.09—56.7 | 13.2—18.4 | 18.82—18.85 | 17.95—18.70 | 在各个方向生長，形成針状物，弯曲． |
| 1.4 | 热軋 | 9.5 | − 3.67 | + 8.48 | 18.45 | — | 試样弯曲，歪扭，具有卵形的外形和粗糙的表面 |
| 无 | 冷压并燒結 | 9.5 | +12.98 | +16.76 | 18.49 | 13.34 | 試样的外形如菌状 |
| 0.5 | 同上 | 5.1 | +11.3 | + 1.04 | 17.57 | 17.12 | 略为粗化的表面 |
| 1.0 | 同上 | 5.1 | + 0.97 | + 1.60 | 17.88 | 17.42 | 同上 |
| 1.2 | 同上 | 9.5 | − 1.33 | + 1.72 | 18.56 | 18.49 | 同上 |
| 1.4 | 同上 | 9.5 | + 0.8 | + 1.07 | 18.52 | 18.43 | 光滑的表面 |
| 1.75 | 同上 | 9.5 | + 0.66 | + 0.87 | 17.97 | 17.73 | 同上 |
| 2.0 | 同上 | 9.5 | − 0.93 | − 1.33 | 18.57 | 18.36 | 同上 |
| 2.5 | 同上 | 9.5 | − 0.13 | + 0.88 | 18.30 | 18.13 | 略为粗化的表面 |
| 3.0 | 同上 | 9.5 | + 2.66 | + 0.96 | 18.09 | 18.03 | 同上 |
| 3.5 | 同上 | 9.5 | 0.26 | − 0.54 | 18.12 | 17.98 | 光滑的表面 |
| 3.75 | 同上 | 9.5 | − 1.07 | + 0.35 | 17.62 | 17.73 | 同上 |
| 4.0 | 同上 | 9.5 | + 0.67 | + 0.61 | 16.78 | 16.77 | 表面有輕度嚼碎状 |
| 4.5 | 同上 | 9.5 | + 0.60 | 0 | 17.57 | 17.48 | 光滑的表面 |
| 6.0 | 同上 | 5.1 | + 0.10 | 0 | 16.75 | 16.71 | 无变化 |
| 11.0 | 同上 | 5.1 | − 0.03 | 0 | 16.91 | 16.94 | 无变化 |

在文献[14]中研究了快中子反应堆用的合金的輻照稳定性. 試样在 127—244°C 的温度放在鋯的容器中进行照射，容器中填充以鈉-鉀合金. 試驗用的合金在氧化鋯的坩堝中熔化并鑄入冷的銅模中. 鑄錠在 900—980°C 温度軋制，并将軋出的毛坯經过热处理后車成直径 2.54 毫米、长度 19 毫米的試样. 試样經受各种不同的热处理，因此在对它們进行試驗时有的是处于 $\gamma$ 相状态，有的是在 $\gamma$ 相部分或完全分解的状态. 燃耗 (Выгорание) 程度达到 0.04—0.14%.

由对含 5.7 和 10% (重量) 鉬的合金进行照射所得到的結果指出，在所有被研究的合金中含10%(重量)鉬的合金具有最大的稳定性.

图 5 表示含 10% (重量)鉬的合金試样在輻照試驗后的外观.

最有效的热处理的选择取决于鉬含量. 例如，含 5% (重量) 鉬的試样以 $\gamma$ 相部分分解的状态最为稳定，而 7—10% 的合金的最大稳定性則出現于具有淬火 $\gamma$ 相状态的試样.

康諾別也夫斯基和他的同事們[13] 在含 9% (重量) 鉬的合金的例子上首先指出，在輻照作用发生分解了的合金全部的或部分的均匀化，或者换句話說，在輻照影响下合金的組織接近于在高温下稳定的組織. 这个現象后来也被其他作者所証实，特别是在文献[14]中.

在文献[11]中对所发現的这种現象給予了理論解释，文中指出，在輻照下非均匀状态向均匀状态的轉化可以看作一种特殊的扩散的結果，这种扩散是由于分裂碎片受抑止在試样的微小体积內温度急剧上升而造成的.

在更迟的研究[3] 中还确定了，引起含 9%(重量)鉬的合金的共析体 $(\alpha+\gamma')$ 均匀化的扩散速度，反比于晶粒大小(片状共析体的周期)的平方.

各向同性的 $\gamma$ 固溶体的稳定化現象具有很大的实际意义，因为它使得在 $\gamma$ 相分解的温度間隔內工作的释热元件的輻照稳定性大为提高.

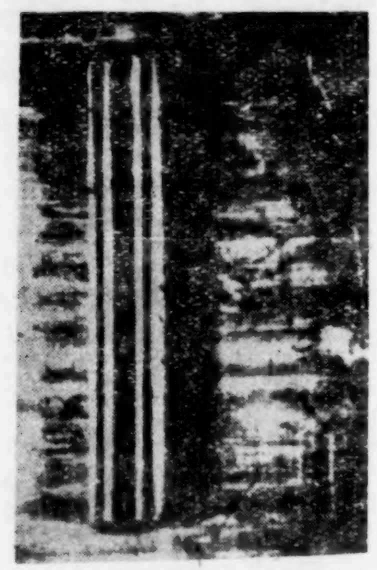


图 5. 照射后的鈾-10%(重量) 鉬合金試样.
曾在淬火 $\gamma$ 相的状态下进行照射. 未发現尺寸和密度的变化. 燒尽量占原子总数的 0.09%. 試驗温度为 240°C [14].

表 9 冷压并燒結的鈾鉬合金的輻照試驗結果[7]

| Mo 含量，%(重量) | 輻照下的燃耗度，原子总数的% | 試样长度的改变，% | 試样直径的改变，% |
|---|---|---|---|
| 1.0 | 0.17—0.38 | 2.63—3.41 | 5.06—6.75 |
| 1.4 | 0.1 —0.11 | 1.5 —1.8 | 0.05—0.5 |
| 2.0 | 0.07—0.10 | 0.75—1.9 | 0.14—0.47 |
| 2.5 | 0.055 | 1.21 | 0.09 |

表 9 中引用了对冷压并在1100°C燒結的鈾鉬合金进行輻照試驗的結果. 試样在輻照下进行試驗时的最高温度为 ~90—150°C.

**鈾鉬合金在水中的抗腐蝕稳定性** 文献[16]中載有关于二元鈾鉬合金在温度为 316—343°C 的水中的腐蝕情况的資料. 試驗在高压釜內蒸餾水中进行，試样由电弧熔炼制得并在氦气中 900°C 的温度下均匀化24小时. 图 6 中的曲綫描述了具有不同鉬含量的合金試样的重量損失大小与試驗时間的关系. 試驗結果指出，在上述条件下，含 10—12% (重量) 鉬的合金具有最好的对腐蝕的抵抗力.

腐蝕速度与試驗温度的关系示于图 7. 腐蝕速度随着試驗温度上升而增加. 譬如，鉬含量由 9 到 12%(重量)、由 $\gamma$ 区淬火的合金的腐蝕速度为:

在 316°C 温度下 0.1 毫克/平方厘米·小时
360°C " 0.3 "
400°C " 0.8 "

采用适当的热处理或引入少量的其他元素加入物，例如鉑，可以提高合金的抗腐蝕耐久性.

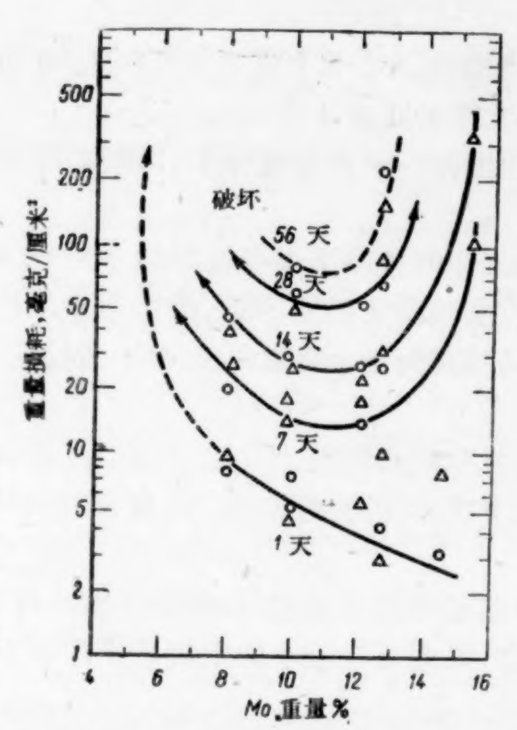



图 6. 鉬含量对鈾鉬合金試样在水中进行腐蝕試驗（$T=316°C$）的重量損耗的影响[16].
○—900°C（7天），水淬； △—900°C（7天），炉冷（75°C/小时）.

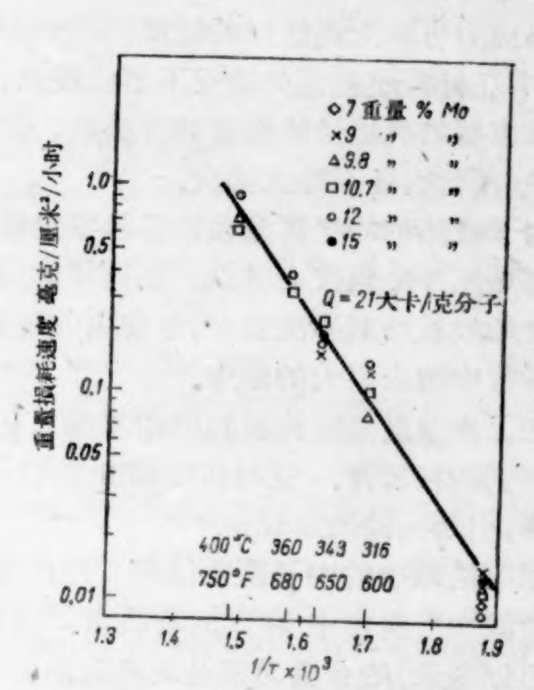



图 7. 由 γ 区淬火的鈾鉬合金試样在水或蒸气中的腐蝕速度与試驗溫度的函数关系[16].

## 利用鈾鉬合金作为原子反应堆的释热元件

虽然关于鈾鉬合金的性质方面的知識还很有限，关于利用它来制造非均匀原子反应堆的释热元件的可能性可以作出一些一般的結論.

作为原子反应堆燃料的材料应当滿足下列要求：

**在反应堆中工作时形状和尺寸的稳定性** 这个要求是最重要的. 在工作中燃料形状和尺寸的变化会引起释热元件空間布置的破坏，这样就严重地影响反应堆的热状态和释热条件. 这些变化可能引起载热剂流分布不均匀以及因而造成的后果——局部过热和包皮的破坏.

要保証形状和尺寸的稳定性不能单靠选择合理的元件构造来达到. 具有首要意义的是燃料的物理-机械性能和燃料在周期性变动的高温条件下承受长时間的中子流作用和分裂产物碎片的裹击的能力.

**高的机械强度和塑性** 大量的热流在燃料中引起显著的温度梯度，这就是內应力的来源. 正如計算公式所指出，最大热应力的数值不仅决定于几何形状和燃料单位面积热流的大小 $q_s$，同时也决定于它的另一些指标，如正弹性模数 $E$，泊松系数 $\mu$，热膨胀系数 $\alpha$ 和导热率 $\lambda$.

最大的热应力发生在边界的表面上并可依下列公式計算[18]：

a）对于长的圓棒

$$\sigma_r^{最大} = \sigma_z^{最大} = \frac{\alpha E q_s d}{8\lambda(1-\mu)},$$

其中 $d$ ——棒的直径;

б) 对于自由的板

$$\sigma_1^{最大} = \sigma_2^{最大} = \frac{\alpha E q_s \delta}{6\lambda(1-\mu)},$$

其中 $\delta$ ——板的厚度.

对于其他情况可以导出类似的公式.

热应力可能大到这样的程度,以致在燃料的机械性能低的情况下或者引起很大的塑性变形,或者在材料塑性低的情况下形成裂痕,因而破坏了元件的正常工作.

最重要的机械性能包括強度极限,屈服极限,塑性指标——相对延伸率、横断面面积减少率和冲击韌性,还有蠕变強度.

**对于載热剂的抗腐蝕和抗侵蝕稳定性** 在长时期工作的条件下有可能发生个别的事故,这时释热元件的包皮会破裂. 在这样的情况下,如果抗腐蝕稳定性弱的話,燃料和分裂产物就会很快地被載热剂冲洗出来,并使它們堆积在第一迴路的表面上、間隙和狹縫中,因而在反应堆的运行中造成很大的困难.

**在工作温度与結构材料的相容性** 在选择燃料的材料时必須特別注意它与包皮材料在工作温度下的相容性. 这时应当防止它們之間发生相互扩散作用的可能性,因为否則就可能造成損害,引起元件的破坏.

**尽可能最小的中子寄生俘获** 用作燃料的鈾合金应保証尽可能最小的中子寄生俘获,这样才能減少反应堆中 $U^{235}$ 的装載量. 由这个观点出发,采用具有較小的宏观中子俘获截面($\Sigma$ 单位为1/厘米)的合金元素是更有利的.

**良好的工艺性能** 向燃料材料提出的重要要求之一是良好的加工性能. 它的工艺性能应保証有可能实現大量生产具有必要的断面形状和尺寸的释热元件,而生产过程在經济上是有利的.

根据上述的各項要求来分析鈾鉬合金的性质,可以作出以下結論:

1. 在鈾中加以鉬所得到的合金,与純鈾相比具有高得多的高温机械性能和抗腐蝕性能,以及在輻照条件下和循环热处理作用下的更高的尺寸稳定性.

2. 鈾鉬合金的工艺性能使我們可以用它来制造各种形状的释热元件(棒状、环状和——在較小的程度上——片状释热元件)的芯部.

3. 在热中子反应堆中采用鈾鉬合金时,由于鉬具有比較大的俘获截面 ($\Sigma = 0.16$ 厘米$^{-1}$),須要提高燃料的浓集度. 但是,尽管这样,在輻照条件下鈾鉬合金的高度尺寸稳定性和在高参数的水中的高度抗腐蝕稳定性在一系列情况下仍是决定性的因素,使我們选择它作为燃料的材料.

例如,文献[15]中就利用含 12%(重量)鉬的合金作为 PWR [希平港 (Shippingport)] 反应堆的释热元件的方案之一. 在这种情况下采用这种合金,显然,是由它的高度輻照稳定性和在水中的抗腐蝕稳定性所决定的.

4. 利用鈾鉬合金于快中子反应堆中想必是很适合的.

采用鈉載热剂的"費密" (Enrico Fermi) 原子能发电站的快中子增殖堆中,在活性区部分的元件可以作为例子[17]. 这些元件的直径 3.81 毫米的芯部由鈾与~17% (体积) 鉬的合金制成. $U^{235}$ 的浓集度为 25%. 这些芯与厚度为 0.1 毫米的鋯压合,使与鋼壳的可靠而安全的接触. 芯的最高工作温度为 705°C,超过了純鈾的 $\alpha-\beta$ 轉变温度.

所有这些表明了利用某些鈾鉬合金作为动力反应堆的释热元件的燃料的材料是有前途

的．但是，只有在詳細地研究了具体的反应堆，它的类型、用途和参数之后，而且仅仅在这样一种情况下，即当鈾鉬合金比其他合金或以鈾为基的其他組成具有一定的优越性时，才可以建議采用鈾鉬合金．

## 参考文献


[1] Дж. У. К. Форд: Проекты энергетических реакторов. Госэнергоиздат, М.-Л., 1956.

[2] R. W. Nichols: *Nucl. Engng* 2, 18, 355 (1957).

[3] С. Т. Конобеевский, Н. Ф. Правдюк, К. П. Дубровин, Б. М. Левитский, Л. Д. Пантелеев, В. М. Голянов: *Атомная энергия* 4, 1, 34 (1958).

[4] R. J. Van Thyne, McPherson: *Trans. of Amer. Soc. Metals* 49, 598 (1957).

[5] С. Т. Конобеевский, А. С. займовский, Б. М. Левитский, Ю. Н. Сокурский, Н. Т. Чеботарев, Ю. В. Бобков, П. П. Егоров, Г. Н. Николаев, А. А. Иванов: Доклад № 2230, представленный на вторую Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958.

[6] W. Haynes, E. Foster, a. o. *J. Metals*, 8, 1076 (1956).

[7] J. H. Kittel, S. H. Paine: 2nd Nucl. Eng. and Sci. Conference, paper 57—NESC—65, USA, 1957.

[8] A. L. Eiss, Kalish: 3rd Nucl. Eng. and Sci. Conference, USA, paper 178, 1958.

[9] Х. А. Селлер, Т. А. Ру: Металлургия ядерной энергетики и действие облучения на материалы. Доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Гос. Научно-техн. изд. литературы по черной и цветной металлургии, 1956, стр. 221.

[10] S. T. Zegler, H. H. Chiswik: Proceedings 2nd Nucl. Eng. and Sci. Conference, Symposium Publications, Pergamon Press, p. 138, 1957.

[11] С. Т. Конобеевский: *Атомная энергия* 1, 2, 63 (1956).

[12] Х. Х. Чизуик, Л. Р. Келман: Металлургия ядерной энергетики и действие облучения на материалы. Доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Гос. научно-техн. изд. литературы по черной и цветной металлургии, 1956, стр. 612.

[13] С. Т. Конобеевский, Н. Ф. Правдюк, В. И. Кутайцев: Исследования в области геологии, химии и металлургии. Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Изд. АН СССР, 1955, стр. 263.

[14] G. D. Calkins a. o: 2nd Nucl. Eng. and Sci. Conference, paper 57—NESC-13, USA, 1957.

[15] J. Vagi, D. C. Martin: BMJ-942, Aug. 16, 1954.

[16] M. M. Burkart, J. Cohen, R. K. McGeary: Proceedings 2nd Nucl. Eng. and Sci. Conference, Symposium Publications, Pergamon Press, p. 197, 1957.

[17] *Nuclear Engineering* 2, 12, 112, (1957).

[18] Р. А. Дане: Техника ядерных реакторов (материалы Комиссии по атомной энергии США). Т. II. Изд. ИЛ, 1957, стр. 130.

# 同質異能核中的电磁跃迁

盧辰諾夫 (Л. И. Русинов)
華尔沙諾維奇 (Д. А. Варшалович)

本文研究了同質異能核中的电磁跃迁.

把同質異能核 $\gamma$ 輻射几率和理論估計作了比較. 比較在球形核內是对容許跃迁和 $i$ 与 $l$ 禁戒跃迁作出的，在变形核內則是对同一轉动能带能級間的跃迁，单粒子能級間的跃迁和 $K$ 禁戒跃迁作出的.

同質異能核的电磁輻射和量子特性的实驗数据和对原子核結构的近代概念相符合.

## 引　言

人为放射性核的同質异能現象是 И. В. 庫尔恰托夫，Б. В. 庫尔恰托夫，梅索夫斯基(Л. В. Мысовский)和卢辰諾夫在 1935 年发現的[1]. 后来 И. В. 庫尔恰托夫和他的学生們确定了核同質异能現象是由原子核內亚稳能級的存在来决定的[2].

近代实驗方法可以在广泛的范围——由几千年到 $10^{-9}$—$10^{-10}$ 秒——內測定亚稳状态的寿命，对若干核还可以量到 $10^{-14}$—$10^{-15}$ 秒，在同位素表內列举有核內比較长寿命的各亚稳状态[3].

原則上說，在所有放射性变化和核反应內都能有同質异能核生成. 在能引起角动量数値高的能級激发的过程中，例如在多电荷离子反应內，同質异能核生成得特别多. 核反应堆广泛地被用来取得同質异能核. 在同步加速器，迴旋加速器，稳相加速器和其他近代加速器上进行的反应中也可得到同質异能核. 在放射性衰变特别是裂变碎片的 $\beta$ 衰变中有大羣的同質异能核生成.

目前已发現的具有同質异能状态而且这些状态的寿命已經經过測定的核数已多于 250 个[4].

可以指出一系列有意义的情况：对某些原来認为已經研究得很好的核发現了同質异能現象. 例如在鈾的放射性族中多年把 $T_{\frac{1}{2}} = 5$ 天的同位素 RaE 看作 $Bi^{210}$ 的基态. 后来把 $Bi^{209}$ 放在反应堆內用高通量的热中子照射后取得了 $T_{\frac{1}{2}} = 2.6\times10^6$ 年的 $Bi^{210}$ 同位素. $Bi^{210}$ 的这一状态才是基态，而 RaE 状态 ($T_{\frac{1}{2}} = 5$ 天) 只是亚稳状态 (图 1)[5].

最近不久以前还認为自旋为 $0^+$，衰变时以 $T_{\frac{1}{2}} = 6.6$ 秒放出正子的状态是 $Al^{25}$ 的基态. 然而由衰变图的能量平衡和对能級同位旋的考虑却得出結論說，$T_{\frac{1}{2}} = 6.6$ 秒的能級是亚稳能級. 仔細的研究表明自旋为 $5^+$ 的基态位于大約低于 $0^+$ 能級 220 仟电子伏处，以 $T_{\frac{1}{2}}\approx10^6$ 年而衰变 (图 2)[6]. 目前已經可以把已有的同質异能核內电磁跃迁的实驗数据和广义核模型的結論相比較了. 由这种比較可以驗証对原子核結构的近代概念的正确性[7].

## 1. 原子核亚稳状态的去激发

亚稳能級可以按不同的道路去掉激发. 但是在多数情形下核在亚稳状态內的寿命是由 $\gamma$ 跃迁和內轉換跃迁的几率来决定的.

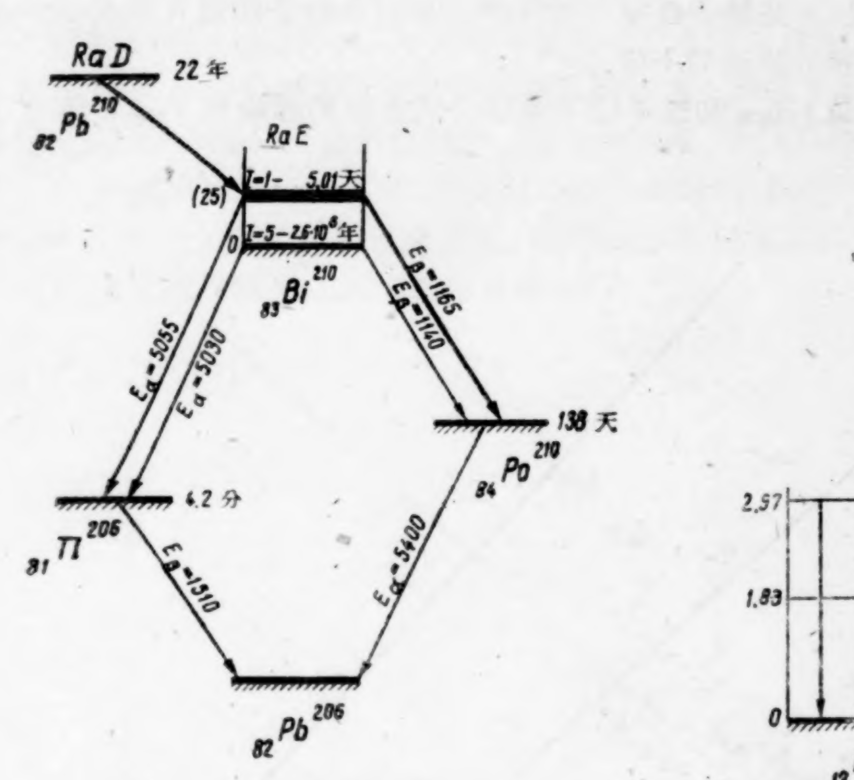



图1 $Bi^{210}$的能級图

图2 $Al^{26}$的能級图

电場为$E$而磁場为$M2^L$的$\gamma$輻射几率由下列公式来定[8]:

$$W(\sigma L)=\frac{8\pi(L+1)}{L[(2L+1)!!]^2}\cdot\frac{E^{2L+1}}{c^{2L+1}\hbar^{2(L+1)}}\cdot B(\sigma L);\tag{1.1}$$

$$\sigma\begin{cases}E & \text{当 } \Delta\pi=\frac{\pi_k}{\pi_H}=(-1)^L \text{ 时}\\ M & \text{当 } \Delta\pi=\frac{\pi_k}{\pi_H}=(-1)^{L+1}\text{ 时,}\end{cases}$$

式中$c$是光速,$\hbar$是普朗克常数,$E$是跃迁能量,$\pi_H$和$\pi_k$是系統起始和終結状态的宇称,$B(\sigma L)$是跃迁的折合几率,(以統計因子的精确度)等于由状态$\psi_H$跃迁到状态$\psi_k$去时的多极矩算符$m(\sigma L)$矩陣元的平方:

$$B(\sigma L)=\left|\int\psi_k^* m(\sigma L)\psi_H d\tau\right|^2\cdot S\tag{1.2}$$

由于計算矩陣素时需要知道起始状态和終結状态的精密波函数,計算是很困难的. 只有在各种核模型的基础上才能作出对$B(\sigma L)$的理論估計.

把矩陣元的理論值和实驗值相比較一方面可以驗証所采用的核模型和$\gamma$輻射机制是否正确,另方面可以在若干情形下决定核的起始状态和終結状态的量子特性.

使用基于单粒子核模型所得的公式可以对$\gamma$跃迁几率作出初步估計[8],[9]. 为了作出这种估計只需有对能量$E$,多极度$L$及跃迁形式$\sigma$的数据就够了. 这时不必一定要知道核能級的量子特性.

文献[8]和[9]內的公式是在核輻射由一个奇核子——精确些說是在核的球形場內运动着的质子——状态的变化来决定的假定下求得的. 对輻射矩陣元所取的是它們的极大值.

$$B(EL)\sim(eR^L)^2;\quad B(ML)\sim\left(\frac{v}{c}eR^L\right)^2,\tag{1.3}$$

其中 $e$ 是質子的电荷，$R$ 是核的半径，$v$ 是核子在核内的速度．所以单粒子跃迁几率公式所給出的仅只是相应于給定多极度完全容許跃迁的上限．

图 3 和图 4 把电磁跃迁的实驗值 $\tau_{\gamma\,эксп}$ 和按单粒子模型公式求出的理論值 $\tau_{\gamma\,теор}$ 作了比較．

由这些图可知:

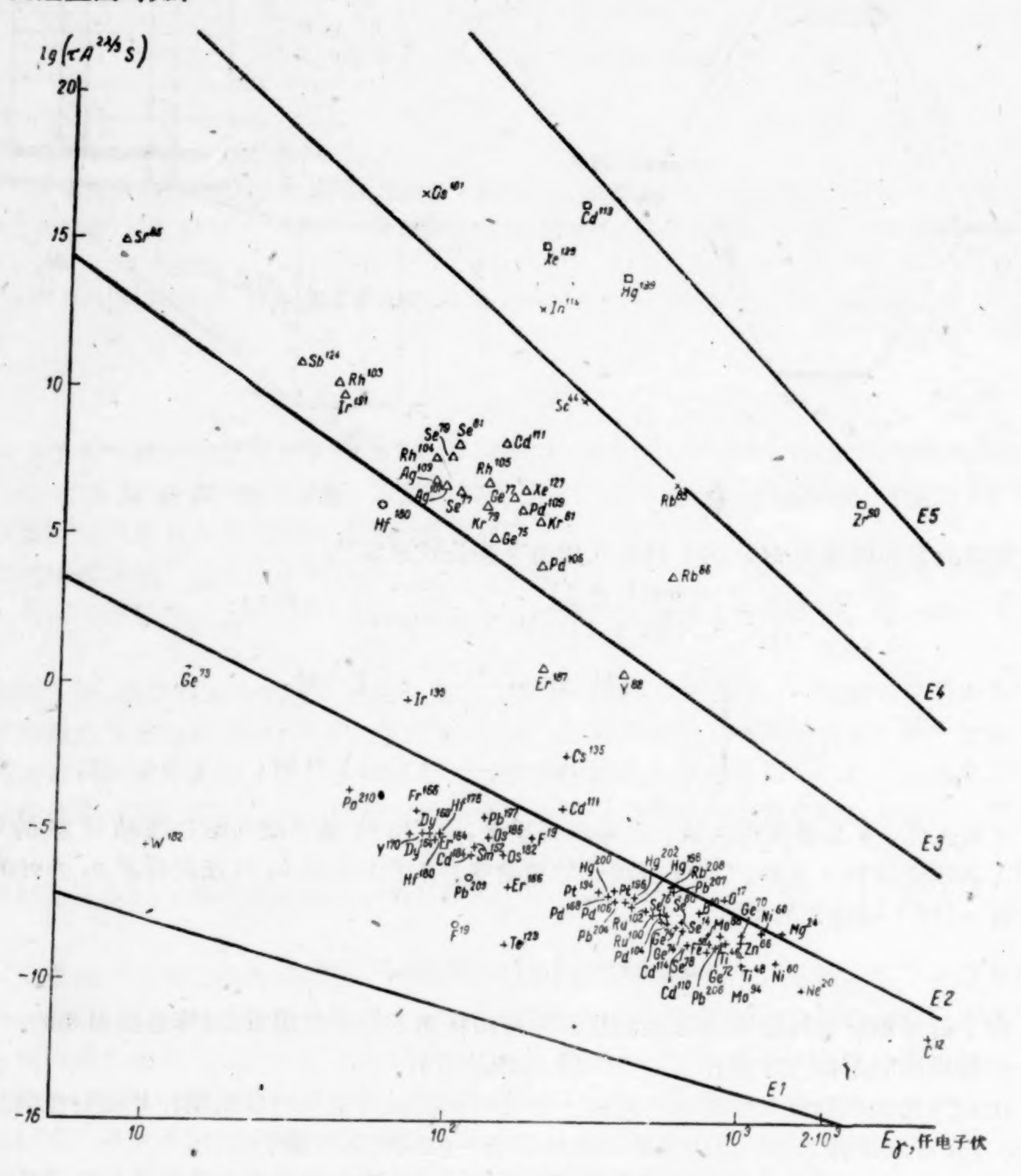



图 3　$\tau_{\gamma}$ 的实驗值和按单粒子模型所作計算(直綫)的比較．

跃迁类型: E1——○; E2——+; E3——△; E4——×; E5——□.

1. 寿命的实驗值以 2—3 个数量级的精确度和理論值相符合，主要是稀土元素和超鈾元素的个别核是例外．

2. 一般情形下实驗測出的寿命高于理論值．只有 $E2$ 跃迁的 $\tau_{\gamma\,эксп}$ 小于 $\tau_{\gamma\,теор}$．

3. 虽然准单粒子模型中子电跃迁几率应該比質子跃迁小得多，中子跃迁几率和相应的質子跃迁几率的数量級却相同．

观察到的 $\tau_{\gamma эксп}$ 和 $\tau_{\gamma теор}$ 之間显著的差别是因为单粒子模型的公式是在相当粗糙的假定下推导出来的而引起的．在若干情形下根本就不能应用单粒子模型法．在广义核模型的基础上可以对 $\tau_\gamma$ 作出較精密的估計[10]．这时必須对不同組的核研究不同的躍迁类型．

对实驗数据的分析表明，原子核可以分成两組：球形核和变形核．質量数为～24—26，150—190 及大于 222 的核属于变形核．其他核的能級图可以令人滿意地用球形势垒模型来描述，所以可以在这个意义上說它們是球形核[11],[12]．

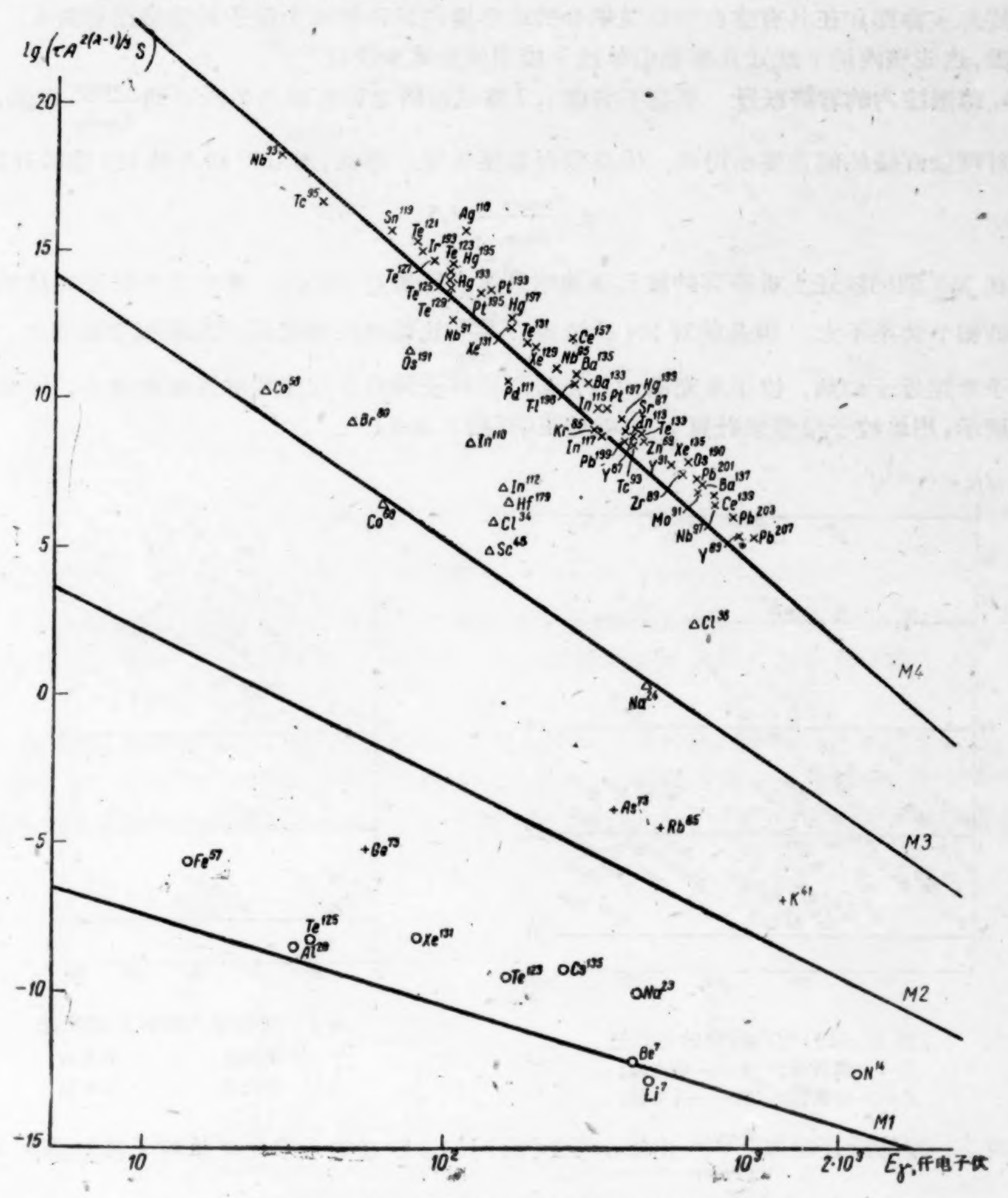


图 4 $\tau_\gamma$ 的实驗值和按单粒子模型所作計算（直綫）的比較
躍迁类型：M1——○；M2——+；M3——△；M4——×.

## 2. 球形核內的輻射躍迁

下列只在一次近似下正确的假定是广义核模型的基础[10]：

1. 存在于核內的核子在某种由它們之間相互作用的結果而生成的有效場(自协場)內彼此无关地运动.

2. 多数核具有球形对称的場(球形核)，部分核的場是軸向对称的椭圓体形(变形核).

3. 核子在核的稳恆場內的运动和相应于核的整体旋轉或核表面振动的核場的变化可以分开来研究. 核子在核內的內部运动和集体运动是可以分开来的.

在多数情形下可以用单粒子模型来很好地描述核子的內部运动. 特別是基态和低激发态的自旋和宇称都和在具有強自旋軌道耦合的球形場內运动的单个粒子的能級图相符合. 可以預計說，这些核內的 $\gamma$ 跃迁几率也由单粒子模型的公式来决定[8],[9].

**a. 球形核內的容許跃迁**　要是不考虑 $j, l$ 禁戒而研究球形核內 $\gamma$ 跃迁的 $\frac{\tau_{\gamma\text{эксп}}}{\tau_{\gamma\text{теор}}}$ 比值，則实驗点对理論直綫的偏差要小得多. 但是差別总还是有. 例如，对 $In^{110}$ 核內的 M3 型跃迁說来

$$\lg\frac{\tau_{\gamma\text{эксп}}}{\tau_{\gamma\text{теор}}}\approx 4.5.$$

在 M4 型的跃迁上观察到的值和理論估計符合得最好(图 6). 看来这些跃迁和核的內部結构的細节关系不大. 但是就对 M4 跃迁說 $\frac{\tau_{\gamma\text{эксп}}}{\tau_{\gamma\text{теор}}}$ 比值也按核壳层的充满程度而变化. 核內的核子数越近于幻数，位于未充满的外壳层上的核子間的相互作用的影响就越小，而如文献[13]所示，用单粒子模型来計算 $\tau_\gamma$ 也就越正确(图 7 及 8).

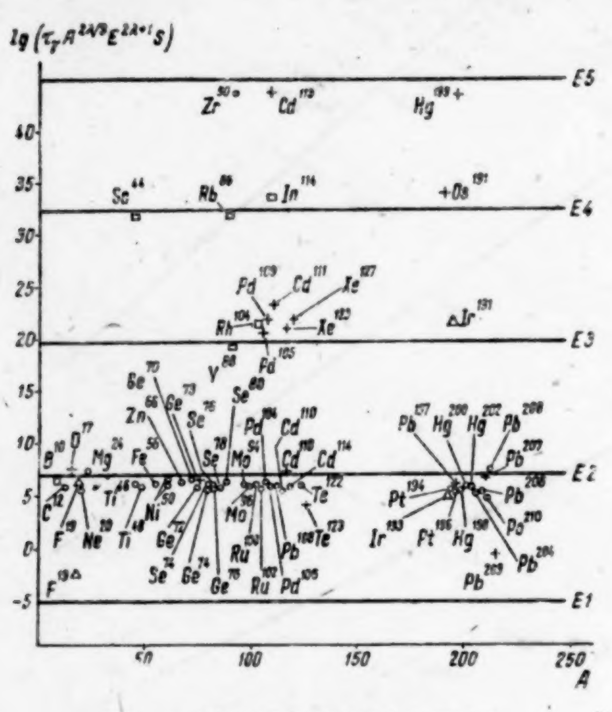



图 5　球形核內的容許电跃迁
○——偶偶核；　+——偶奇核；
△——奇偶核；　□——奇奇核.

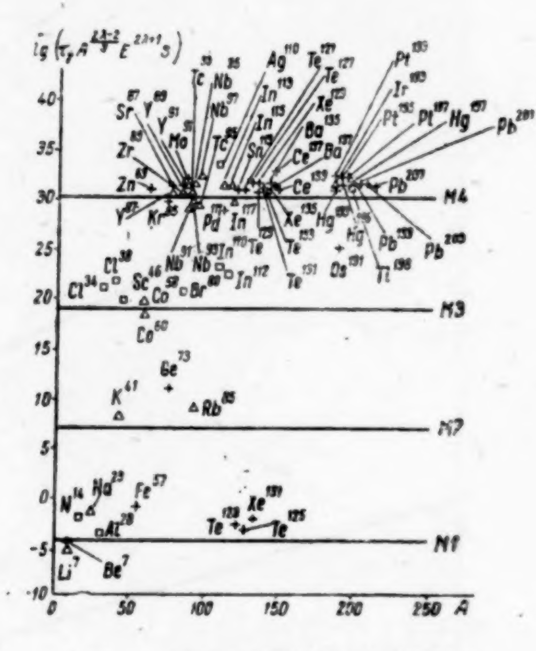



图 6　球形核內的容許磁跃迁
○——偶偶核；　+——偶奇核；
△——奇偶核；　□——奇奇核.

对 E2 型的跃迁說来 $\frac{\tau_{\gamma\text{эксп}}}{\tau_{\gamma\text{теор}}}$ 比值小于 1 (图 5). E2 跃迁的几率比在单粒子模型基础上所得的大，这是和核子的集体运动有关的. 甚至对核子数近于相应于完全封閉壳层的幻数的核說来 E2 型跃迁也不是純粹单粒子型的. 在和非成对核子的状态变化有关的 $\gamma$ 跃迁中，在核的骨架內会感应而生相应的振动动力矩. 由于感应矩正比于外核子的跃迁矩，单粒子跃迁矩陣元要乘上依于粒子和骨架的关系的系数. 可以引入某种附加有效电荷 $\alpha e$，即把質子的电荷認为是 $(1+\alpha)e$ 而中子的电荷是 $-\alpha e$ 来描述这一效应. 核子的核內运动和集体运动相混对核的統

計四极矩也有类似的影响：例如，按照单粒子模型，中子数为奇数的核的四极矩应該为零，可是 $_8O^{17}_9$ 核在基态內的 $Q = -0.026 \times 10^{-24}$ 厘米$^2$. 由对反冲效应的考慮可得中子的有效电荷为 $\alpha = \frac{Z}{A^2} = 0.03$，而为了解释 Q 的实驗值必須認为中子的有效电荷是 $\alpha = 0.6$. 要是計算同一核 $O^{17}$ 的 E2 型 $\gamma$ 跃迁几率时使用 $\alpha = 0.6$ 的数值，核在相应的状态(872 仟电子伏)內的寿命的理論值就和实驗值 $\tau_\gamma = 3.6 \times 10^{-10}$ 秒符合得很好了[14].

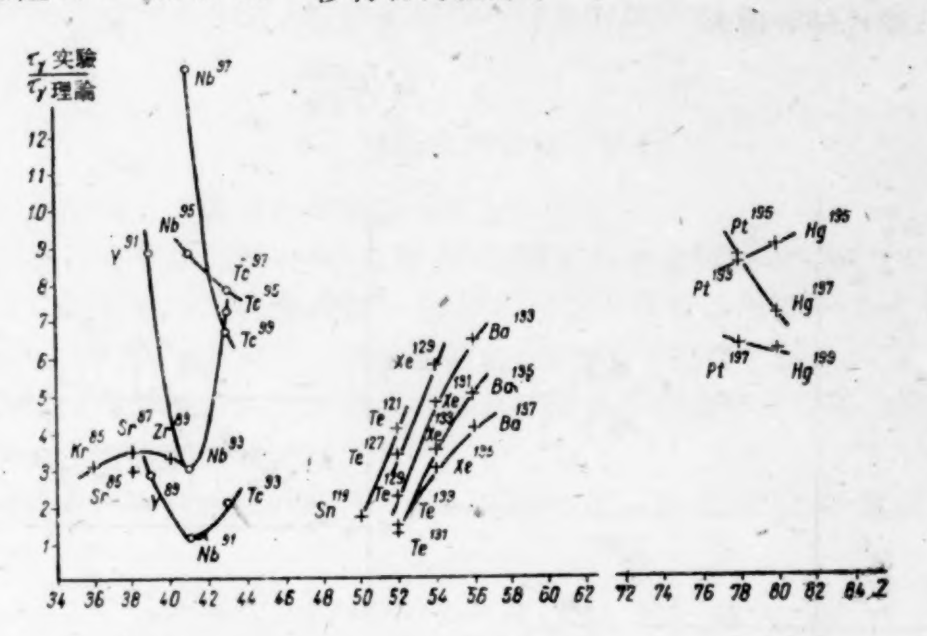



图 7 M4 型跃迁下 $\frac{\tau_{\gamma\,\text{эксп}}}{\tau_{\gamma\,\text{теор}}}$ 对质子数的相依曲綫

○—— $Z$ 为奇数的核； +—— $N$ 为奇数的核.

**6. $j$ 禁戒跃迁** 在最后一个奇核子的角动量 $j$ 和核的总动量矩 $I$ ($A$ 为奇数的核) 不相符合的情形下 $j$ 跃迁可能因量子数 $j$ 被禁戒. 因 $j$ 容許的跃迁选择規則由不等式

$$|\Delta j| \leqslant L = \Delta I$$

表示，即是說，如奇粒子矩的变化大于跃迁多极度的数量級时跃迁不可能是单粒子跃迁.

在有 43、45 和 47 个奇数核子的核內 E3 型的跃迁可以作为因 $j$ 而被禁戒的跃迁的例. 这些核具有在球形势核的单粒子能級图[11],[12] 內不能相容的能級 7/2 +[15]. 上述的核子数相应于

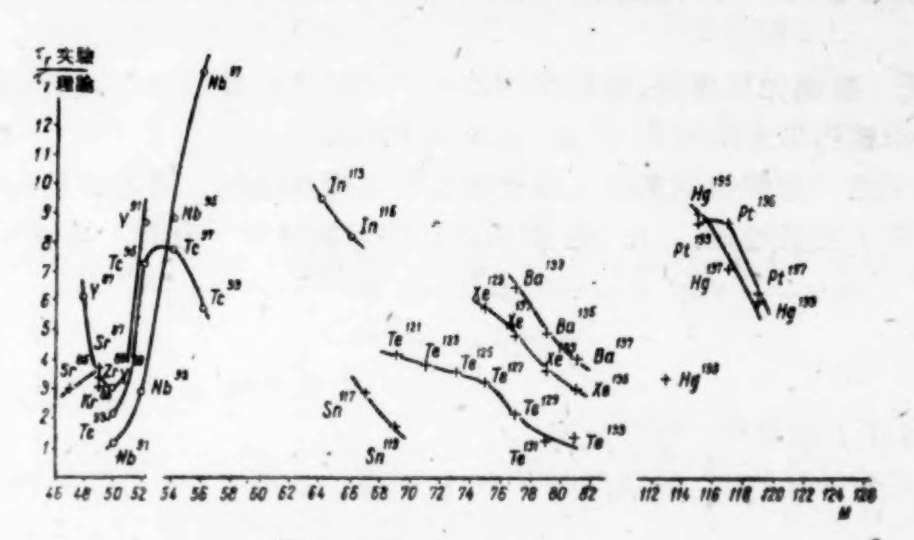



图 8 M4 型跃迁下 $\frac{\tau_{\gamma\,\text{эксп}}}{\tau_{\gamma\,\text{теор}}}$ 对中子数的相依曲綫

○—— $Z$ 为奇数的核； +—— $N$ 为奇数的核.

壳层 $g_{9/2}$ 的充滿能級的自旋．7/2 + 是由 $j = 9/2$ 的几个（3,5 或 7 个）核子的矩作向量相加而決定的．由于状态 7/2 + 和 $P_{1/2}$ 間的 $\triangle I = 3$, $\triangle j = 4$, E3 型的跃迁是因 $j$ 而受到禁戒的．这些跃迁的几率虽然比单粒子計算值低得多，到底还不等于零．

图 9 上表示了 $j$ 禁戒 E3 跃迁的$\frac{\tau_{\gamma экоп}}{\tau_{\gamma одн}}$比值．看得到，这些 $\gamma$ 跃迁的几率比单粒子估計小 2—3 个数量級．当逐渐离开中子幻数（$N = 50$）时最后一个核子对核的偶偶骨架的联系随之增加，$\gamma$ 跃迁的几率也随着增大．

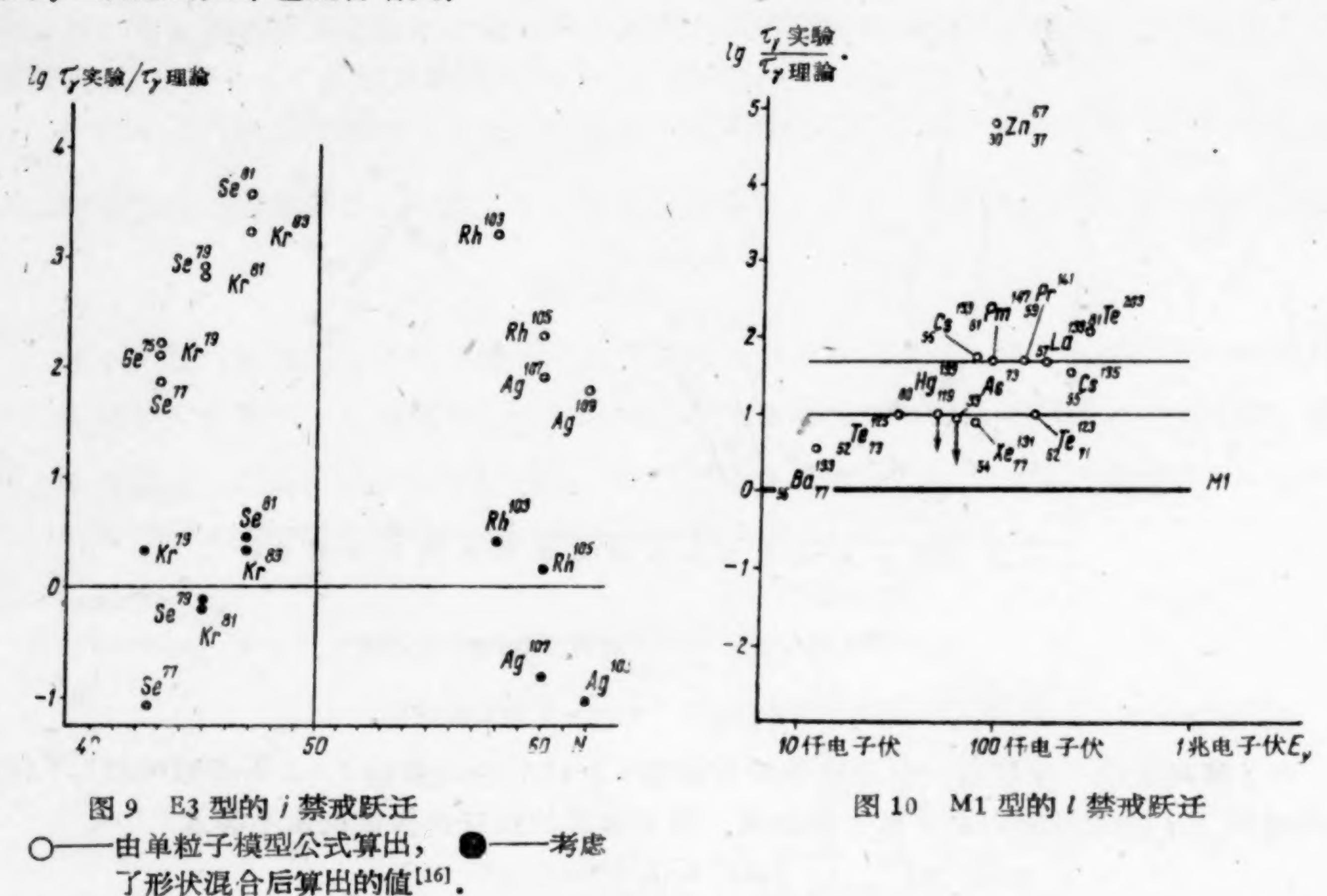



图 9 E3 型的 $j$ 禁戒跃迁

○——由单粒子模型公式算出，●——考慮了形状混合后算出的值[16]．

图 10 M1 型的 $l$ 禁戒跃迁

$j$ 禁戒 $\gamma$ 跃迁的几率是用文献[16]內的形式混合法算出的．作为混合形式的扰动的第一是最后一个奇粒子和核骨架的相互作用，第二是模型未曾考慮到的非中心力．

图 9 上也举出了这些計算的結果．实驗值和理論值之間符合得不坏（精确度一个数量級）．

**в. $l$ 禁戒跃迁** 按照壳层模型，球形核作单粒子 $\gamma$ 跃迁时最后一个奇核子軌道矩的变化不应該大于 $\gamma$ 量子由核內带走的矩 $L$，即 $\triangle l$ 应該小于或等于 $L$．

对电跃迁說来这一选择規則实际上沒有給出任何附加限制，而因自旋和宇称被容許的磁跃迁可能因量子数 $l$ 而被禁戒．在 M1 型的跃迁中多数情形下有着 $l$ 禁戒存在，例如在跃迁

$$S_{1/2} \rightleftarrows d_{3/2};\quad P_{3/2} \rightleftarrows f_{5/2};\quad d_{5/2} \rightleftarrows g_{7/2};\quad f_{7/2} \rightleftarrows h_{9/2}$$

$$\triangle j = 1, \quad \triangle l = 2$$

中就是如此．

图 10 中列举了 $l$ 禁戒的 $\gamma$ 跃迁数据．

中子跃迁（$N$ 为奇数的核）約被抑制了 10 倍而质子跃迁（$Z$ 为奇数的核）約被抑制了 50 倍．

文献[17]中作了用交換电流的存在来解释观察到的 $l$ 禁戒核的寿命的尝試，和实驗的符合相当好．不过应該考慮到由于交換电流难于定量估計，这一文献中把矩陣元按平均实驗值作

了归一化而所得結果对中子数为奇数的核給出的$\frac{\tau_{\gamma\text{эксп}}}{\tau_{\gamma\text{теор}}}$值約为$\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$，对質子数为奇数的核給出的值則为 3—5．在文献[18]和[19]中作了用自旋軌道相互作用来解释这些跃迁的存在的尝試．但是这一机制完全不能解释观察到的中子 $l$ 禁戒跃迁几率，就連注意到了核的反冲效应时也是如此．

在文献[20]中用形式混合法求出了 $l$ 禁戒跃迁几率。在这些計算中所使用的参数值是由动量矩 $\mu$ 和 $Q$ 的統計值求出来的．文献的結果不論是对質子或中子跃迁說和实驗的差别都不大于两倍．

### 3. 变形核內的輻射跃迁

在平衡变形大的核上出現的集体性最为明显．

旋轉能級的存在是变形核的特性.实驗表明,核的集体旋轉运动和核子在核內的运动可以够好地分别开来。核內运动的特性时間～$10^{-22}$ 秒而旋轉运动的週期～$10^{-20}$ 秒．

变形核的每一核內状态相应于一条旋轉能带,即是若干旋轉能級．

下面我們来研究变形核同一旋轉能带內各能級間，不同旋轉能带基态間的 $\gamma$ 跃迁和普遍情形——各能带的任何能級間的跃迁．

**a. 同一旋轉能带內各能級間的跃迁**　核的旋轉能譜可以按能級能量的特性关系来确定[10]：

$$\triangle E_r=\frac{\hbar^2}{2J}\Big[I(I+1)-K(K+1)\Big];\ K\neq\frac{1}{2},\tag{3.1'}$$

$$\triangle E_r=\frac{\hbar^2}{2J}\Big\{\Big[I(I+1)-\frac{3}{4}\Big]+a\ \Big[1+\ (-1)^{I+\frac{1}{2}}(I+\frac{1}{2})\Big]\Big\};\ K=\frac{1}{2},\tag{3.1''}$$

其中 $I$ ——核的总角动量，$K$——核的总角动量在系統对称軸上的射影，$J$ ——相似于核慣性矩的數量，$a$ ——描述核的自旋和骨架間关系的系数。

同一旋轉能带各能級的宇称相同，由核內状态的宇称来决定，旋轉能級的自旋則組成下列貫数：

$$\begin{aligned}&I_0=K;\ I_1=K+1;\ I_2=K+2;\cdots K\neq 0\\&I_0=0;\ I_1=2;\ I_2=4;\cdots \qquad\qquad K=0\end{aligned}\tag{3.2}$$

对質量数为 ～24—26，150—190 和大于 222 的核来說自旋、宇称和激发能的实驗数据和理論值相符合[4],[21]．这些核同一能带的能級間可能产生 M1 及 E2 型的跃迁．这些跃迁的几率可以用旋轉能带基态的統計矩 $I_0$，$\mu_0$ 和 $Q_0$ 表示出来[10]．

E2 跃迁的折合几率可以用內四极矩来表示：

$$B(\text{E2})=\frac{5}{16\pi}e^2Q_0^2\cdot\left(C^{I_kK}_{I_\text{H}K,20}\right)^2.\tag{3.3}$$

$C^{Im}_{j_1m_1j_2m_2}$ 是动量矩向量相加系数．四极矩可以用光学方法测量，內四极矩和它的关系如下：

$$Q=Q_0\frac{I_0}{I_0+1}\cdot\frac{2I_0-1}{2I_0+3}.\tag{3.4}$$

M1 跃迁的折合几率可以用公式

$$B(\text{M1})=\frac{3}{4\pi}\cdot\left(\frac{e\hbar}{2Mc}\right)^2(g_k-g_R)^2K^2\cdot\left(C^{I_kK}_{I_\text{H}K,10}\right)^2,\ K\neq\frac{1}{2}\tag{3.5}$$

表示，其中迴轉磁比率 $g_k$ 和 $g_R$ 决定能带基态的磁矩

$$\mu=\frac{I_0^2}{I_0+1}g_k+\frac{I_0}{I_0+1}g_R.\tag{3.6}$$

由于在集体运动中有大量核子参加，由一个状态到另一个的跃迁和核內电荷和电流分布密度的显著变化有关核內产生集体$\gamma$跃迁的几率大于单粒子$\gamma$跃迁几率.

图11上把旋轉能級E2跃迁寿命的实驗值和理論值作了比較.

相应于$A$为奇数的核的点描述$\frac{\tau_{\gamma \text{эксп}}}{\tau_{\gamma \text{теор}}}$比値. 寿命的实驗值由庫仑激发的截面算出，理論值则按公式(3.3)算出. 这里使用了用光学方法求出的四极矩数据.

由图11可見比值$\frac{\tau_{\gamma \text{эксп}}}{\tau_{\gamma \text{теор}}}$在实驗誤差范围內等于1，而最近已經弄清楚了对核$Lu^{175}$，$Ta^{181}$和$U^{235}$的偏差*是由光学方法測量这些核的四极矩时的不精确所引起的.

相应于$A$为偶数的核的点給出比值$\frac{\tau_{\gamma \text{кул}}}{\tau_{\gamma \text{прям}}}$，即由庫仑激发截面所定的寿命对直接用延迟符合法所测定的寿命的比值. 这些数据是为了証明虽然两种方法有很大的不同，但所得的$\tau_\gamma$值却一样而引用的.

**б. 变形核內的单粒子跃迁** 一般說来偶偶变形核的低能級属于基态的旋轉能带. 在$A$为奇数的变形核內有相应于最后一个奇核子的激发的低单粒子能級和基态旋轉能带的能級同时存在[4]. 每个这种能級有自己的旋轉能带与之相应. 描述变形核內单粒子状态的自旋、宇称和其他量子数可由尼尔孙(Nilsson)法来决定. 这一方法指出了能級依于核的变形度的連貫性[22],[23]. 在分析$A$为奇数的变形核的衰变实驗数据时这一方法是很有用的. 在图12上画出了$U^{235}$的能級图来作为例証[24].

在研究$Pu^{239}$的$\alpha$和$\gamma$能譜时确定了在$\alpha$衰变时生成的$U^{235}$最低能級的自旋等于1/2[24]. 但是直接測量自旋的光学方法[25]和庫仑激发的数据[21]表明$U^{235}$基态的自旋等于7/2.

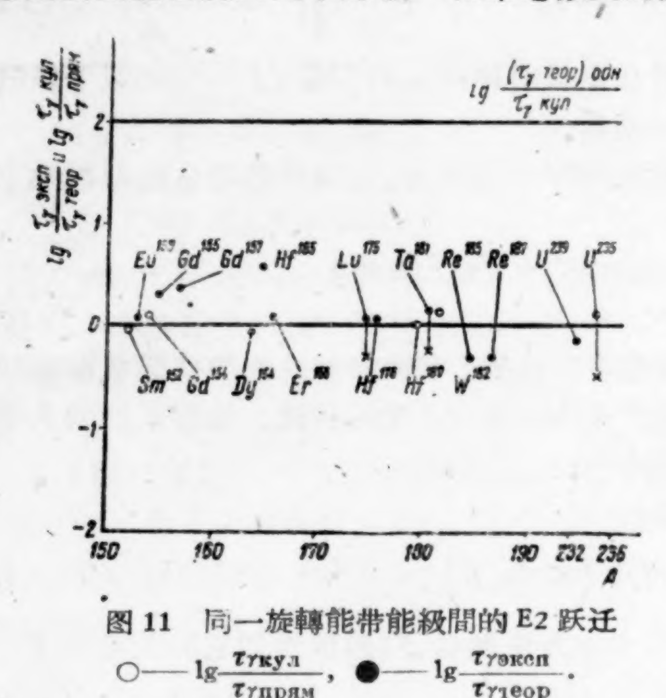



图11 同一旋轉能带能級間的E2跃迁
○— $\lg\frac{\tau_{\gamma \text{кул}}}{\tau_{\gamma \text{прям}}}$，● — $\lg\frac{\tau_{\gamma \text{эксп}}}{\tau_{\gamma \text{теор}}}$.

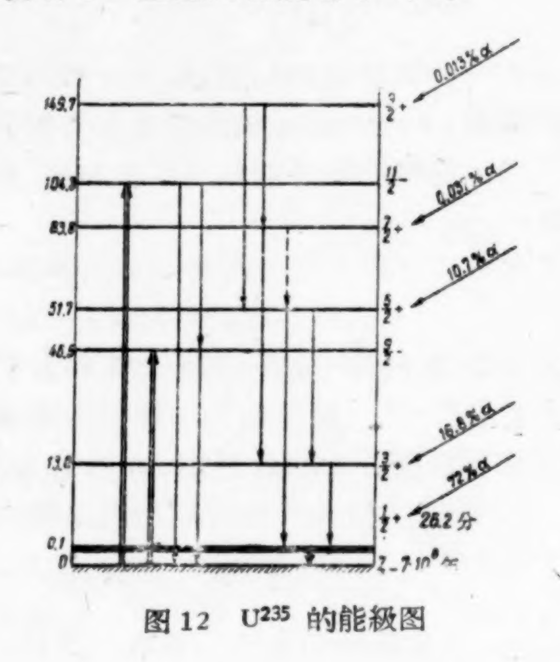



图12 $U^{235}$的能級图

由变形核的单粒子能級图可知，具有143个中子的核[26]，特别是$U^{235}$应該有两个鄰近的能級: 1/2 + 和 7/2 −. 仔細的实驗分析表明$U^{235}$的基态的$I_0$为7/2，而$I=1/2$是激发态，能級1/2 + 的激发能小于100仟电子伏[27]，所以这些状态間的E3型跃迁就难以发現了. 自旋間頗大的差别和相当小的跃迁能使得核在这一状态內的寿命相当长($T_{1/2}=26.2$分)[28].

* 原注，在图11上用十字符号标出了相应的$\frac{\tau_{\gamma \text{эксп}}}{\tau_{\gamma \text{теор}}}$值.

对核 $_{95}Cm^{239}_{143}$，$_{94}Pu^{237}_{143}$，$_{92}U^{235}_{143}$，可能还包括 $_{90}Th^{233}_{143}$ 也应有类似的同质异能态出現.

不久之前眞的在实験中取得了 $Pu^{237}$ 这一同质异能素 ($T_{1/2} = 0.18$ 秒)，它以 E3 型的跃迁衰变到基态[29].

在变形核单粒子能級間作 $\gamma$ 跃迁的几率可以由文献[23]中推导出来的公式来决定. 沃依汉斯基 (M. E. Войханский)[30]和哈里頓 (Ю. Э. Харитон) (見 [7]) 彼此无关地按照这些公式算出了变形核內激发态的寿命. 图 13 表示出了計算的結果.

看得清楚，对变形的考虑改善了 $\tau_\gamma$ 的实験值和理論值間的符合.

例如，对 $E_r^{167}$ 的能量为 208 仟电子伏的 E3 型跃迁說来

$$\frac{\tau_{\gamma\text{эксп}}}{(\tau_{\gamma\text{теор}})_{\text{деф}}} = 0.37,$$

而

$$\frac{\tau_{\gamma\text{эксп}}}{(\tau_{\gamma\text{теор}})_{\text{сфер}}} = 470.$$

但是計算 $(\tau_{\gamma\text{теор}})_{\text{деф}}$ 的公式是很复杂的，用它們来进行計算时必須知道核的起始状态和終結状态的波函数.

为了大致估計变形核內单粒子 $\gamma$ 跃迁的几率可以使用在文献[30]，[31]中求得的因近似量子数 $N, n_z\ \Lambda$，和 $\Sigma$ 而容許的 $\gamma$ 跃迁的选择規則(見表 1). $N, n_z, \Lambda$ 和 $\Sigma$ 描述极端变形核內核子的状态，就如象 $N, l, j$ 描述球形核內核子的状态一样: $N$—— 主量子数，$n_z$——主量子数在系統对称軸上的"射影"，$\Lambda$——外核子軌道矩 $l$ 在对称軸上的射影，$\Sigma$——外核子自旋 $s$ 在对称軸上的射影.

实际上由于在我們所研究的范围內的核既不是球形对称的，又不是无限变形的，上面两类量子数都只是近似量子数. 核变形得越厉害，对 $n_z, \Lambda$ 和 $\Sigma$ 的选择規則的作用就越大而对 $l, j$ 的选择規則的作用就越小. 当因 $N, n_z, \Lambda$ 或 $\Sigma$ 有一禁戒单位时 $\gamma$ 跃迁的几率要減小 10—100倍.

考虑了对近似量子数的选择規則后可以以 1 个到 2 个数量級的精确度不用复杂的推算估計变形核的 $\gamma$ 跃迁几率.

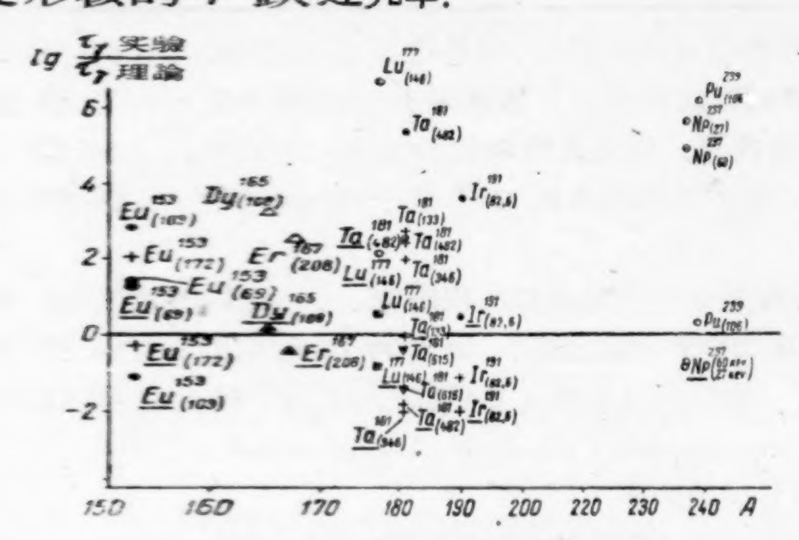



图 13 变形核內的单粒子跃迁

用横綫标出了相应于考虑了变形算出的点所表示的核的符号.

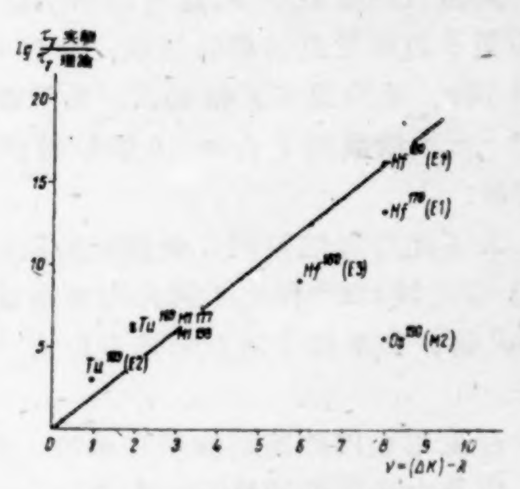



图 14 变形核內的 $K$ 禁戒跃迁

直綫相应于比禁戒因子 $f_k=100$.

**B. K禁戒跃迁** 現在我們来研究一下变形核內 $\gamma$ 跃迁的普遍情形，卽是不同旋轉能带能級間的跃迁. 在这种情形下除上述对各近似量子数的选择規則而外对描述核的总角动量在系統对称軸上的射影的量子数 $K$ 的选择規則

$$|\Delta K| \leqslant L \tag{3.7}$$

也变得重要了.

这一选择规則表明了动量矩射影守恆定律. 然而由于核子的核內运动和集体运动不能完全分离, $K$也不是严格的运动积分, 所以对$K$的禁戒不是絕对的. $K$的禁戒度由数值 $\nu = |\Delta K| - L$ 来决定.

格俄日傑夫(B. C. Гвоздев)和卢辰諾夫[32]与沙尔夫-戈里得哈別尔(Sharff-Goldhaber)和他的合作者們[33]彼此无关地由实驗中首次发現了$K$禁戒.

图 14 上繪出了已由实驗測定了寿命的那些$K$禁戒跃迁的数据画出的图綫表示$\frac{\tau_{\gamma эксп}}{\tau_{\gamma теор}}$对禁戒度$\nu$的相依性. 虽然$\tau_{\gamma теор}$应該按考虑了核的变形的公式[23]来計算,这里却是用对球形核的公式算出来的. 如要考虑核的变形,必須事先賦予核的能級一定的形式,这是不一定經常办得到的.

表 1. 因 $N$, $n_z$, $\Lambda$, $\Sigma$ 容許的 $\gamma$ 跃迁选择規則

| $\Delta\Omega$ ($\Omega = \Lambda+\Sigma$) | $\Delta\Lambda$ | $\Delta\Sigma$ | $\Delta N$ | $\Delta n_z$ | 补充条件 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | *EL* 型跃迁 | | |
| $\pm L$ | $\pm L$ | 0 | $L, L-2, \cdots -L$ | 0 | |
| $\pm(L-1)$ | $\pm(L-1)$ | 0 | $L, L-2, \cdots -L$ | $\pm1$ | |
| 0 | 0 | 0 | $\pm2$ | $\pm2$ | $L=2$ |
| 0 | 0 | 0 | $0\pm2$ | 0 | $L=2$ |
| $\pm L$ | $\pm L$ | 0 | $L+1, L-1, \cdots -L-1$ | $\pm1$ | |
| $\pm L$ | $\pm(L-1)$ | $\pm1$ | $L-1, L-3, \cdots -L+1$ | 0 | |
| $\pm(L-1)$ | $\pm(L-1)$ | 0 | $L-1, L-3, \cdots -L+1$ | 0 | |
| $\pm(L-1)$ | $\pm(L-1)$ | 0 | $L+1, L-1, \cdots -L-1$ | $\pm2$ | $L>1$ |
| $\pm(L-1)$ | $\pm(L-2)$ | $\pm0$ | $L-1, L-3, \cdots -L+1$ | $\pm1$ | $L>1$ |
| 0 | 0 | 0 | $\pm1$, $\pm3$ | $\pm1$ | $L=2$ |
| 0 | $\pm1$ | $\pm1$ | $\pm1$ | 0 | $L=2$ |

实驗点的数目不多. 还可以举出若干因$K$而被禁戒的$\gamma$跃迁,但是这些跃迁除此而外还因近似量子数而受到強烈的禁戒. 穿过 $Hf^{180}$ 所画的直綫相应于比禁戒因子(即禁戒一个单位$\nu$) $f_k = 100$. 平均說来$K$禁戒跃迁沿这直綫而組合成群. 但是点的起伏是相当大的. 相应于核 $Os^{190}$——比禁戒因子 $f_k \approx 10$ 的核特别离得远. 看来这是因为核 $Os^{190}$ 位于平衡变形区的边緣的緣故.

为了定量地估計因$K$被禁戒的跃迁几率必須对每一个别情形加以研究. 不久前在文献[34]中对核 $Hf^{180}$ 作出了因$K$而被禁戒的$\gamma$跃迁几率的理論計算. 算出的寿命值約大于实驗值$10^3$倍, 和单粒子估計的差别則为$\sim10^{16}$倍. 暫时对其他的$K$禁戒跃迁还未作出类似的計算来.

在变形核內除旋轉能級和单粒子能級外还有振动能級.

但是由于这些能級的激发能相当高而寿命相当短, 現有的对变形核內振动能級的实驗資料是很少的.

## 4. 0—0 跃 迁

由于一定多极性的$\gamma$跃迁几率单值地决定內电子轉換几率, 上面利用电磁跃迁和与它們有关的轉換跃迁来研究了原子核激发态的去激发几率.

內轉換系数对核結构的某些相依性是由核內区域来决定的, 但是多数情形下这一区域对

轉換的作用不大而效应是測量精确度所不能及的．上述的相依性只在強烈禁戒的$\gamma$跃迁中才能表現出来（$K$禁戒是例外）[35],[36]，对禁戒$\gamma$跃迁說来內轉換系数可能和工作[37]的表內的值不符而这种差別沒有系統性．

所謂0—0跃迁也应該研究一下（E0型的跃迁）．在这种情形下一个$\gamma$量子的放出是絕对禁戒的．能級的去激发由內轉換或放出两个給出連續能譜的$\gamma$量子而进行，要是跃迁能$E>$ 1.022兆电子伏，則放出$e^+$和$e^-$电子对的轉換就会起着重大的作用．

在0—0跃迁下內电子轉換几率只由核內区域来定，并由和核結构有关的矩陣元平方$\rho^2$来描述．

表2．　0—0跃迁的实驗数据

| 核 | $E$，兆电子伏 | $\tau$，秒 | $\rho^2$ |
|---|---|---|---|
| ${}_6C^{12}_6$ | 7.68 | — | 0.06 |
| ${}_8O^{16}_8$ | 6.06 | $6.7\times10^{-11}$ | 0.06 |
| ${}_{32}Ge^{70}_{38}$ | 1.21 | $\geqslant2.5\times10^{-7}$ | $\leqslant0.015$ |
| ${}_{32}Ge^{72}_{40}$ | 0.69 | $4.3\times10^{-7}$ | 0.014 |
| ${}_{40}Zr^{90}_{50}$ | 1.75 | $8.3\times10^{-7}$ | 0.036 |
| ${}_{46}Pd^{106}_{50}$ | 1.41 | $\sim10^{-8}$ | $\sim0.02$ |
| ${}_{84}Po^{214}_{130}$ | 1.41 | $3.3\times10^{-10}$ | 0.0025 |

表2列举了內轉換几率巳知的0—0跃迁数据对每种情形都指出了跃迁能，相应的亚稳能級寿命和因子$\rho^2$，由表2可知，描述核的个別性質的核矩陣元的变化是不規則的．

以上把核的同質异能状态寿命和它們的量子特性与理論值所作的比較表明，考虑了核子在核內的內部运动和集体运动的广义核模型能对原子核同質异能現象的主要实驗数据加以解释．　　（鈡　全譯）

## 参考文献


[1] I. V. Kourtchatow, B. V. Kourtchatow, L. V. Mousowski, L. I. Roussinow: C. r. *Acad. sci.* **200**, 1201 (1935).
[2] И. В. Курчатов, Л. И. Русинов: Юбилейный сборник, посвященный 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, ч. I. Изд. АН СССР, 1947, стр. 285.
[3] Г. Сиборг, И. Перлман, Дж. Холлендер: Таблица изотопов. Изд. ИЛ, 1956.
[4] Б. С. Джелепов, Л. К. Пекер: Схемы распада радиоактивных изотопов. Изд. АН СССР, 1957.
[5] H. B. Levy, I. Perlman: *Phys. Rev.* **94**, 152 (1954).
[6] P. M. Endt, C. M. Braams: *Revs. Mod. Phys.* **29**, 683 (1957).
[7] Л. И. Русинов, Г. М. Драбкин: УФН, **LXIV**, 93 (1958).
[8] V. F. Weisskopf: *Phys. Rev.* **83**, 1073 (1951).
[9] S. A. Moszkowski: *Phys. Rev.* **89**, 474 (1953).
[10] Проблемы современной, Физики, № 9, 1955 и № 1, 1956.
[11] M. G. Mayer, J. H. D. Jensen: Elementary Theory of nuclear shell structure (John Wiley and Sons). New York—London. 1955.
[12] E. Feenberg: Shell Theory of the nucleus. Princeton Univ. Press, 1955.
[13] Е. П. Мазец, Л. И. Русинов: ДАН СССР **101**, 253 (1955).
[14] B. J. Raz: *Phys. Rev.* **107**, 1201 (1957).

[15] Г. М. Драбкин, В. И. Орлов, Л. И. Русинов: Изв. АН СССР. Сер. физ. **19**, 324 (1955).
[16] M. Sano: *Progr. Theoret. Phys.* **18**, 223 (1957).
[17] L. Spruch, A. Rotenberg: *Phys. Rev.* **103**, 365 (1956).
[18] H. de Waard, T. R. Gerholm: *Nucl. Phys.* **1**, 281 (1956).
[19] J. H. D. Jensen, M. G. Mayer: *Phys. Rev.* **85**, 1040 (1952).
[20] A. Arima, H. Horie, M. Sano: *Progr. Theoret. Phys.* **17**, 567 (1957).
[21] K. Alder, A. Bohr, T. Huus, B. Mottelson, A. Winter: *Revs. Mod. Phys.* **28**, 432 (1956).
[22] B. R. Mottelson, S. G. Nilsson: *Phys. Rev.* **99**, 1615 (1955).
[23] S. G. Nilsson: Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Mat-fys. Med. **29**, № 16, 1955.
[24] Е. Ф. Третьяков, Г. И. Гришук, Л. Л. Гольдин: ЖЭТФ **34**, 811 (1958).
[25] K. L. Vander Sluis, J. R. McNally, J. Opt. Soc. America **45**, 65 (1955).
[26] D. Strominger, J. V. Rasmussen: *Nucl. Phys.* **3**, 197 (1957).
[27] F. Asaro, I. Perlman: *Bull. Amer. Phys. Soc.* **2**, 394 (1957).
[28] M. S. Freedman, F. T. Porter, F. Wagner, P. P. Day: *Phys. Rev.* **108**, 836 (1957).
[29] F. S. Stephens, F. Asaro, S. Amiel, I. Perlman: *Phys. Rev.* **107**, 1456 (1957).
[30] М. Е. Войханский: ЖЭТФ **33**, 1004 (1957).
[31] G. Alaga: *Nucl. Phys.* **4**, 624 (1957).
[32] В. С. Гвоздев, Л. И. Русинов: ДАН СССР **112**, 401 (1957).
[33] G. Sharff-Goldhaber, M. McKeown, J. W. Mihelich. *Bull. Amer. Phys. Soc.* **1**, 206 (1956).
[34] В. В. Анисович: ЖЭТФ, **34**, вып. 6, 1639 (1958).
[35] E. L. Church, J. Weneser: *Phys. Rev.* **104**, 1382 (1956).
[36] S. G. Nilsson, J. O. Rasmussen: *Nucl. Phys.* **5**, 617 (1958).
[37] Л. А. Слив, И. М. Банд: Таблицы коэффициентов внутренней конверсии гамма-излучения. Изд. АН СССР, 1956.

# “列宁号”原子破冰船*

阿列克赛德罗夫(А. П. Александров) 阿夫里堪托夫(И. И. Африкантов)
伯蘭都斯(А. И. Брандаус) 哥拉德可夫(Г. А. Гладков)

## 引 言

苏联北方地区經济的发展要求建立更加強大的破冰船队,以便能够加速实現北海航队的建設,延长航期和加寬利用較高緯度的航綫. 所有这一切都能够增加貨物周轉和北极地带的輸送容量.

現存的破冰船和烧普通燃料的破冰船型运輸船,由于常常装艙不能够用来在北极地带的所有緯度上航行. 它們的航行被限制在比較窄的沿岸地带并且是在一个复杂的有冰环境之中. 在这种条件下,經常的危险仍旧是缺少动力,这就迫使要极其小心的耗費它,所以破冰船常常被迫在非全功率下工作,这就減低了船只利用的效率.

在苏联正在建造的用核燃料动力装置作为发动机的破冰船能不受这些缺点的限制. 这个具有強大功率和航程很长的破冰船可以在北极的任何地区航行,并且能够放寬北极科学研究領域.

在这只船的建造过程中,科学家、工程师和工业工人們解决了一系列复杂的技术問題. 譬如解决了以下問題:

1) 建造具有高功率,良好的控制性和在搖动、振动和冲击重負荷条件下有长使用期的全套原子动力装置,并在采用最小的生物防护重量条件下,保証在海外及港內工作时的輻射安全.

2) 建造原子核反应堆的和綜合解决物理、热工和工艺問題.

3) 造成唯一的动力机械装备及高度坚固的船壳,以及特殊器材的設計和制造.

4) 使相互有关的动力系統的控制、調整和检查过程几乎全部实行自动化.

## 破 冰 船 的 特 性

列宁号原子破冰船于 1956 年 8 月 25 日在列宁格勒造船厂建造,而于 1957 年 12 月 5 日下水. 現在正在水上継續建造.

現援引破冰船的主要特性

| | |
|---|---|
| 破冰船类型 | 电气透平 |
| 船行期 | 1 年 |
| 全长 | 134 米 |
| 最大寬度 | 27.6 米 |
| 主軸功率 | 44000 馬力 |
| 排水量 | 16000 吨 |
| 动力强度 | 2.75 馬力/吨 |
| 在平靜的深水中在全排水量下的最大速度 | 18 浬 |
| 在冰层厚为 2.4 米連續进行的速度 | 2 浬 |
| 螺旋推进器的数目 | 3 个 |
| 最大速度时的轉数: | |
| 中間螺旋桨 | 185 周/分 |
| 船侧螺旋桨 | 205 周/分 |
| 船弦的側高 | 16.1 米 |
| 吃水深度 | 9.2 米 |
| 在破冰时螺旋桨給出的前压力 | 330 吨 |

* 本文为苏联在 1958 年第二次日内瓦和平利用原子能国际会議上发表的文献.

| 原子核动力装置重量(包括防护) | |
|---|---|
| 总重 | 3017 吨 |
| 相对重量 | 68.5 吨/馬力 |
| 防护物重量 | 1963 吨 |
| 机械装置总重量(包括螺旋桨电动机和电站,但不包括原子动力装置) | 2750 吨 |

| 装置的总的蒸汽生产力 | 360 吨/小时 |
|---|---|
| 蒸汽参数: | |
| 溫度 | 310°C |
| 压力 | 28 大气压 |
| 主透平发电机的蒸汽消耗量 | 204 吨/小时 |
| 輔助蒸汽鍋炉的生产能力 | 10 吨/小时 |
| 輔助电站的功率 | 6200 瓩 |

航行期(一年)是这个破冰船的主要质量之一,这对于北极来說是特别重要的,在北极运輸燃料特别困难,有时甚至于是不可能的,而这一破冰船的航行期比現有破冰船航行期大致大10倍.

按功率来看,其軸馬力为 44000 匹这一破冰船的透平电机在同一类船舶中是沒有与其相同的. 破冰船中的动力強度(額定功率与总排水量的比)达到每吨排水量为 2.75 馬力,它超过了現有破冰船动力強度的一半.

列宁号原子破冰船与某几个普通破冰船的性能对比列于表中:

破 冰 船 性 能 对 比

| | 苏联 伊尔馬克号 | 加拿大 德·伊别維尔号 | 加拿大 拉布拉多号 | 美国 冰河号 | 苏联 列宁号 |
|---|---|---|---|---|---|
| 动力強度,馬力/吨 | 0.95 | 1.22 | 1.96 | 2.20 | 2.75 |
| 額定功率与吃水綫寬度之比,馬力/米 | 350 | 550 | 556 | 900 | 1640 |

破冰船的主要尺寸(长、寬、舷高和吃水深)是考虑到正常运轉的一系列要求而定的,即:小的长寬比(为在冰中有較好的机动性所必需的);能把破冰船駛入干船塢中;保証不沉沒和稳度;保証质量比現有的船要好(延长航行期和提高动力強度,改善船員生活条件等等).

在設計破冰船时特別注意到首先影响破冰船质量的最适宜的船头尖端的形状. 在最后的选择船头尖端形式以前,先用模型在冰池中作試驗,也在冰中作了实物試驗. 所挑选的形状使破冰船对冰的垂直压力相对値比現有的破冰船大 15%.

在船中間构架中应用的舷足够应付在破冰引航或停泊时舷側受到的压力,保护船的上层結构.

在設計船尾的尖端时,主要注意到螺旋槳和舵的可靠的保护,并保証在冰中間后退可超越性. 在船尾的水上部份有一特殊的供拖船用的空穴.

功率分布在三个船尾螺旋槳之間,比率为 1:2:1. 如果安装螺距固定的螺旋槳,則实际上不可能有对航行和抛錨状态都属最适宜的工作状态. 因此,在設計螺旋槳时,注意到在冰中航行时获得最大的止动.

根据用依里亚·姆拉麦兹号破冰船所专門作的实际試驗数据,大概地計算一下在冰中的通过能力,指出在所选的推压力 330 吨时,破冰船能够在連成一片的厚度超过 2 米的冰层中連續运行.

为改善破冰船在冰中的通行能力,在船上装設了特殊的傾差設备,它备有可逆的螺旋式电动水泵,抽水量每个为 4000 吨/时,抽水机的控制是集中的并且自动化的.

根据在水池中模型試驗的結果計算了破冰船的最高航速,模型的試驗及計算表明,在全速前进时,尾舵偏轉 35°破冰船的迴轉半径約为船长的 3—3.5 倍,在后退时,为了改善可控性破冰船由側舷螺旋桨来調度.

估計到破冰船可能遭遇到困难工作条件(在高緯度下破厚冰时),在計算时对舷結构的冰負載取較高的值,并采用船体破冰列鈑的外壳鈑.

为了查明沿破冰船舷冰負載的分布特性,在一个破冰船上进行了实际試驗,并且从理論上研究了破冰船破冰的状况.

也分析了已运行的及已設計成的苏联及外国破冰船的舷結构强度外壳鈑强度.

为了保証在所采取的冰压負荷値下船壳的各联結部分的强度,需要制成新型的鋼材,它具有較强的韌性和良好的可銲接性,还須在低温度下能很好地抵抗裂縫扩大的性能.

破冰船外船壳的冰环壳体在中部厚36毫米,在头部厚52毫米,在尾部厚44毫米,船体有足够的强度来抵御任何在极地可能受到的冰压力,由于相当大的横寬度,一般破冰船都有較大的稳定中心高度,这样就会引起在大海中航行时船身的搖摆,列宁号破冰船在横向稳定中心較一般破冰船为低——在滿載排水量为1.9米,在此种情况下根据模型試驗結果列宁号破冰船的横向摆动周期应高于10秒,前后搖摆周期为7至8秒.

由于水上舷部分相当高,船可以在任何情况下安全行駛.

在船头部选择的弧度保証了它在风浪中航行不受濺水及波浪淹入.

破冰船体用11个不透水的主要横壁分隔成段,段的长度及分布完全适合于1948年国际航海人身安全会議的規定.

船体經这样分隔后在所有各种破冰船工作状况下,包括在二米厚的冰中碎冰之际同时有任何两个段破裂而进水时,或者相当于1948年国际会議規定的破損情况下不会下沉,而一般說来,普通輪船只在破坏一段时不下沉,不沉性和它的非常坚固的船壳使破冰船在事故时能够保持不沉,这是特別重要的因为在船上有核动力設备.

由外表看,破冰船是一个具有光滑船体的、中等弧凹度的船,长形上层艙体和两支桅桿,在上甲板上放有快艇及救生船,在尾部有直升飞机起飞降落場及飞机庫.直升飞机用于探測及与其他船只或船港口联系.

破冰船有四个連續甲板和两个平台,两个縱向艙壁,自第二艙底直达上甲板,在两舷构成隔間,在这里主要設置傾斜槽、压艙槽、燃料槽以及其他等槽(下甲板以下)以及各种儲藏室,工作間和工作人員艙(下甲板以上).

在两个縱向隔壁之間从艙房直到上甲板間裝置机器設备.

在住艙甲板及上甲板上沿两舷在两个主要縱向隔壁与艙房之間設有主走廊,通过走廊可以不經过甲板的露天部分跟船的长度以內所有主要房間相通行,在走廊頂上分出一部分空間用来敷設各种电纜及管道,为上下通行在沿高度方向設有寬的、傾斜度小的船梯.

舵、錨、設备与一般这种类型的船一样.

为拖曳用在船上設有絞車,拉力40吨.

裝貨由三架起重机来执行.

船上有所需要的貯存及加工車間,也有为柴油引擎用的燃料庫,輔助鍋炉及水(供鍋炉用、飲用及洗滌用).

## 通訊及控制設备

在破冰船上有两付雷达:短程雷达及长程雷达,短程雷达用于航行导向,长程雷达——观察四周情况及直升飞机用,也在下雨下雪情况下也重复短程雷达的測况.

无綫电通訊設备設于头及尾部的无綫电室內,保証在超短波、短波、中波及长波段內与海岸基地、港口、船队、飞机等保持可靠的联系.

也备有強大的电揚声器以便与船只、海岸进行扩音联系.

近代航海仪器:迴旋指南針、测程器、测音器(以上各二付)、自动封漏器、无綫电测向器、无綫电定位器等等——都是根据破冰船应用的条件特别設計的,这些設备装在两个罗盘室、航行室、测程室及声納站、控制站(操纵室及艉桥)上.

在船的內部利用100門自动电話机、单独电話組、扩音联系設备及強大的船用有綫广播进行联系.

破冰船上有光及声的訊号装置.

自艉桥上送入机器間的命令用交流同步电报传达.

## 船員生活福利設备

估計到长期不泊港地留在海中的情况,在設計破冰船时考虑到了最大限度地使船員得到便利.

船上設有单人和双人住艙,艙房內有冬季空气調节設备、水暖設备、热水及冷水管、洗脸盆,以及在极区長夜中特别有意义的日光照明灯.

艙房所在处的甲板上下距离为2.4至2.5米.

在破冰船上特設有极精緻的娛乐室、餐厅,在这里可以放映电影,还有俱乐部、图书館、閱覽室、吸烟室及音乐厅.对公用房間特别注意艺术上装飾.

盆浴室和淋浴室設备都很好,并且远离一般住艙.

医务室內有門診处并附設理疗室、手术室、牙科、X光透視室、药房、化驗室、隔离室.

工作人員食用品存放在靠近廚房的有空气通风設备的庫房中.

## 动力設备

設計和建造动力設备时,主要考虑到保証所有設备原件的最大可靠性和耐久性,运行的安全和方便,甚至在某些情况下牺牲一些經济指数.

为此目的采取以下措施:

1) 三个独立工作的核反应堆設备.

2) 服务于机械設备的循环水泵、冷凝水泵、給水泵、油泵和其他泵都有100%的生产能力储备.为了保証不間断地对蒸汽发生器供水的問題,有几个給水透平泵平行工作.保証在給水閥門上的压力降不变,而在其中其一泵的事故停車时,其他泵就自动地提高轉数和增加对蒸汽发生器的給水量,以保証維持給定工作状态下所必須的給水量.这些泵都有自动調节装置.循环水透平泵及冷凝水透平泵能根据情况同时运轉或单独运轉.当在潤滑油装置中油压降低到危险程度时,主透平的电动备用油泵自动地开动起来.为了提高可靠性,主透平发电机的循环水泵、冷凝水泵和主給水泵都由透平传动.其他的輔助設备都是电动的.

3) 动力設备被分成为两个独立的部份,这两部份分别位于原子蒸汽发生装置的近船首和船尾两侧.使所有的主要管道——蒸汽管,冷凝水管道和給水管道的敷設,可以保証可靠地沿着破冰船的任意一舷对机械装置的任意一部份供給工作介質.

4) 破冰船的动力机械所需的电力分别由两个电站供应,每个电站各有功率为1000瓩透平发电机.为了在缺乏蒸汽时开动电气設备,其中一个电站备有功率为1000瓩的柴油发电机.

5) 为了保証不間断的对蒸汽发生器供給电能,除了备用的柴油发电机以外,还装有两台功率各为100瓩的事故柴油发电机,当电路的电压消失时,它們就自动开动起来.

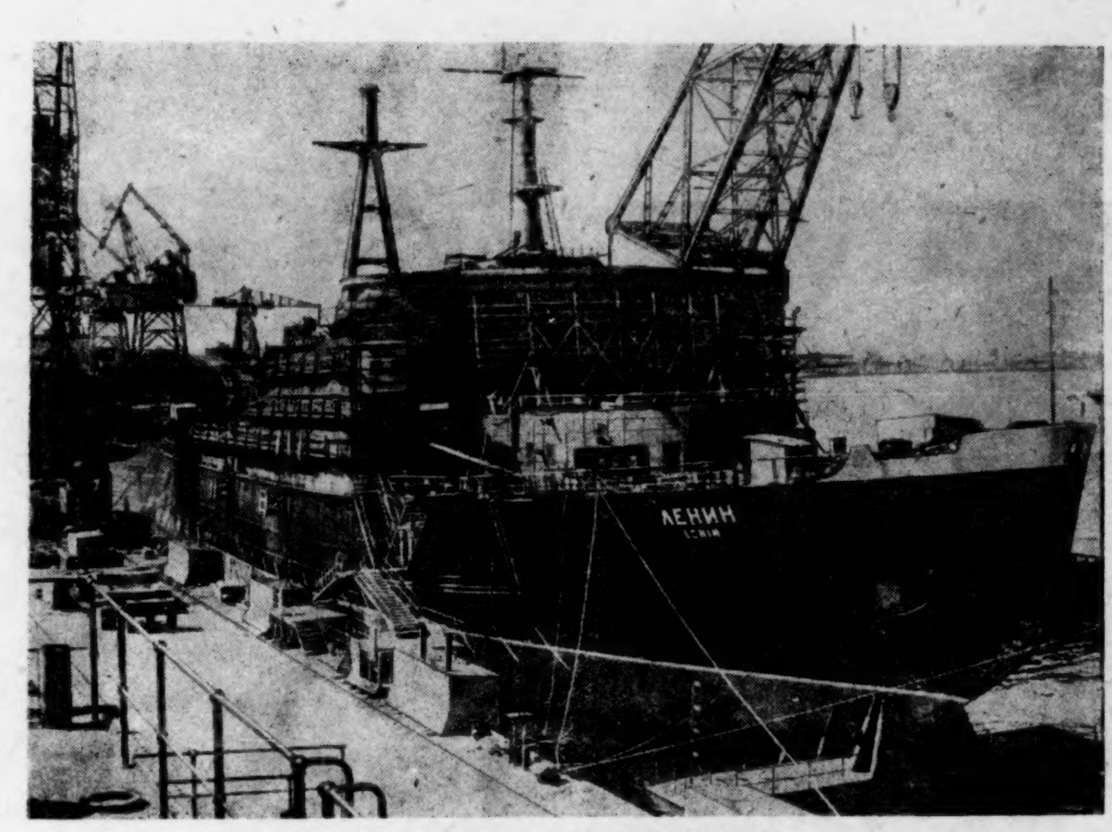



图1　破冰船下水后正在續建中

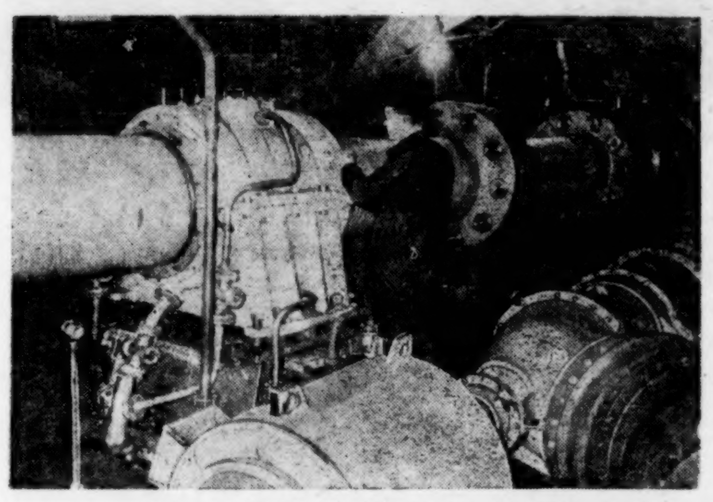


图3　中軸及船尾傾差泵

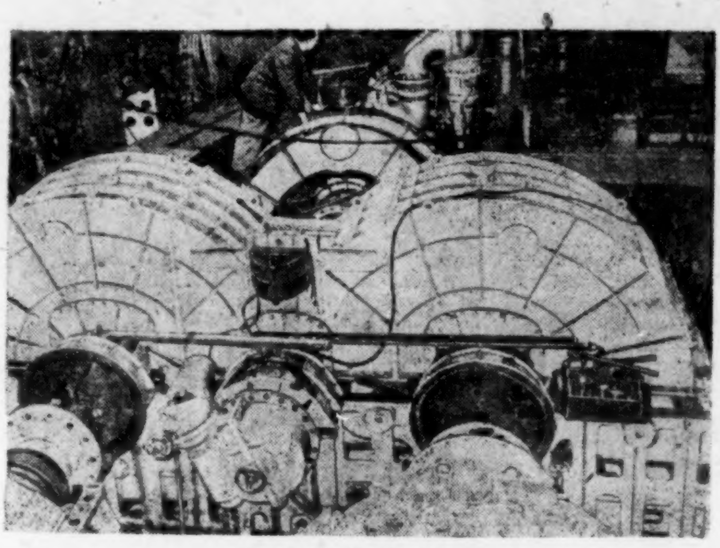


图4　带減速器的主透平机

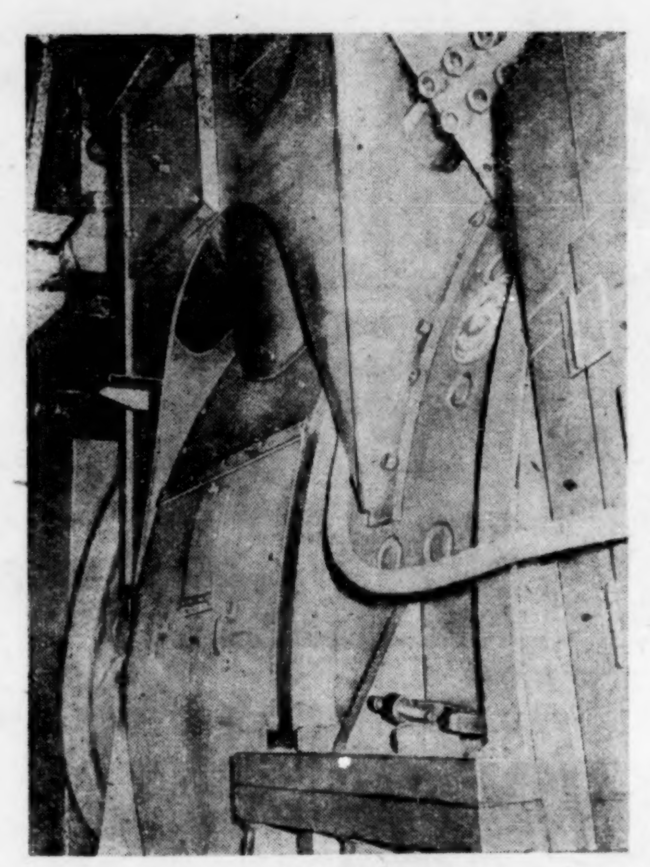


图 6　中央推进器电动机

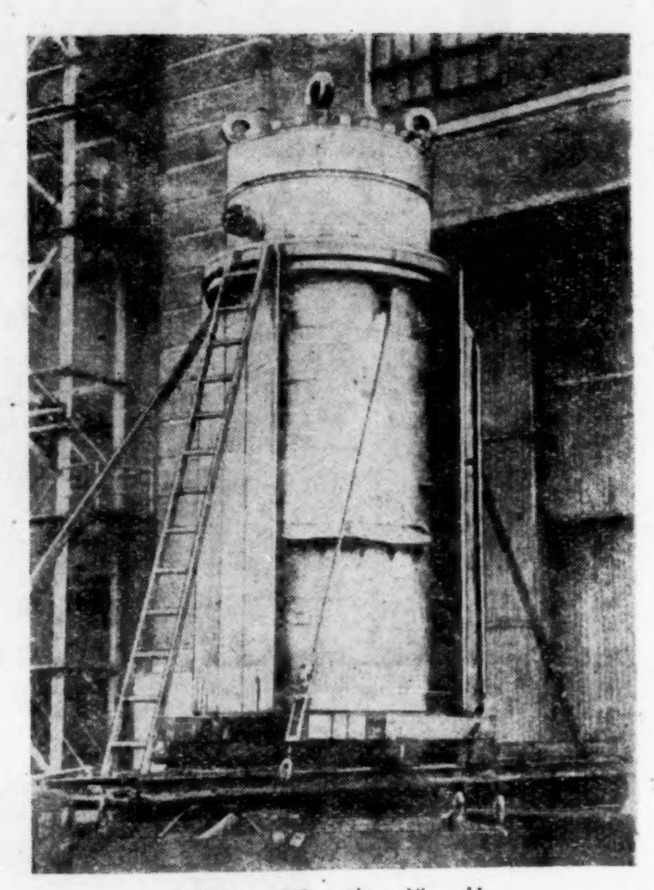


图 16　反　应　堆　体



图 17　安装成的反应堆的顶部

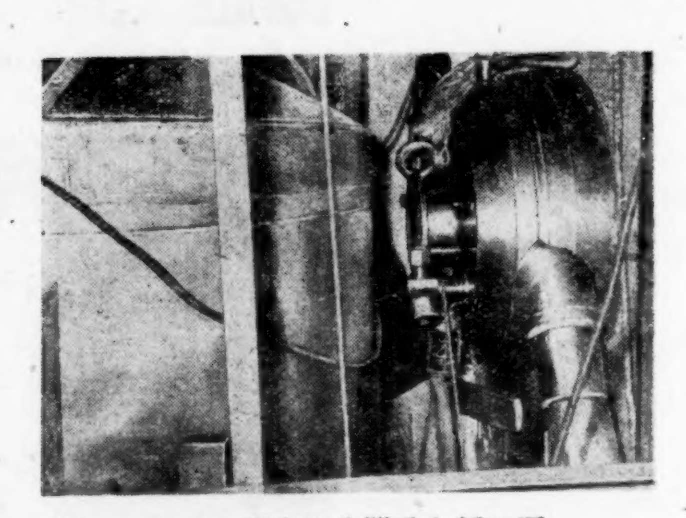


图 18　蒸汽发生器及主循环泵

6）为了減少供水系統被堵塞的可能性，所有冷凝器都有两套管栅做成，在主透平发电机和輔助透平发电机的冷凝器中管栅間的空間有水密封.

7）为了尽量地减低給水中的含盐量，循环水的損漏用蒸餾水来补充，蒸餾水是海水經两次蒸餾又在离子交換过滤器中純化而得的.

8）为避免在蒸汽发生器損坏时放射性杂質沾污生活上用的蒸汽（淋浴，澡盆，洗滌，通风方面用的），它由用蒸汽发生器产生的蒸汽来加热的热交換器来供应.

9）在破冰船停泊时，原子蒸汽发生装置停止工作，破冰船所需的蒸汽是由輔助鍋炉設备来供給，它是由燒石油的两个水管鍋炉构成的.

10）考虑到螺旋槳冲击力和在冰中航行时螺旋槳的受到阻碍时所产生的动負荷，用特种鋼来制造軸和螺旋槳，以保証其高強度.

蒸汽发生器（它保証破冰船所需要的蒸汽并有很大的蒸汽后备供应能力）及三个独立运

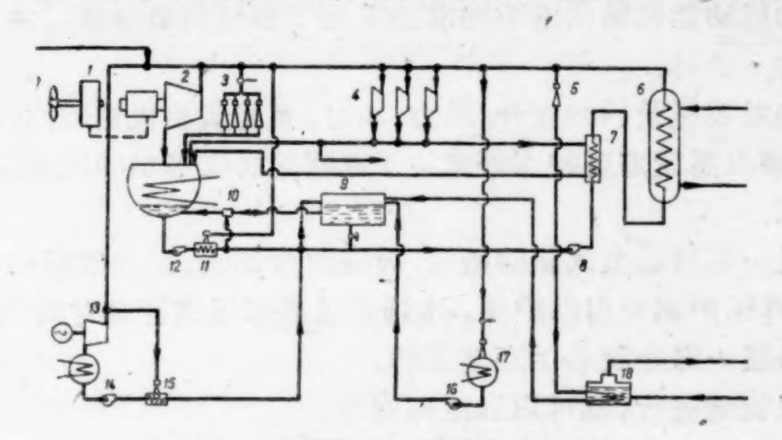



图 2　破冰船动力装置部分原理

1——螺旋推进器电动机； 2——主透平发电机； 3——放汽系統的节流潤湿装置； 4——輔助机械的透平传动； 5——蒸汽冷却器； 6——蒸汽发生器； 7——給水預热器； 8——給水泵； 9——水位槽； 10——主冷凝器的水位調节器； 11——主透平发电机的噴射器； 12——主透平发电机的冷凝水泵； 13——輔助透平发电机； 14——輔助透平发电机的冷凝水泵； 15——輔助透平发电机的噴射器； 16——輔助冷凝器的冷凝水泵； 17——輔助冷凝器； 18——船上日常需要蒸汽的发生器.

行的反应堆的存在，使得不必再使用任何其他推动破冰船的能源.

破冰船的动力装置部份的原理图示于图 2.

由于破冰船动力装置的負荷在运行时經常急剧地变化，因而决定不再采用从主透平御汽換热的热力系統. 在采用的綫路中用輔助透平机的废蒸汽在預热器中单級加热給水. 废蒸汽同样在蒸汽发生装置中被用来蒸发水，其压力为 2 大气压，給水的加热溫度約 100°C. 排到冷凝器去的剩余废蒸汽，在大部份的运行状态下是最少的. 为了保証在負荷剧烈变化时蒸汽发生器的装置正常的工作，备有自动把可能产生的过量的新鮮蒸汽排入主冷凝器的装置. 在一般工作状态下和从一功率轉为另一功率时，动力装置的操作性能是使得浪費掉的蒸汽量为最小. 在动力装置的所有工作状态下，蒸汽参数是不变的，这就簡化了动力装置的运行.

在蒸汽发生器的开动时期，非全能运行时期，以及在停泊时期間过剩的新鮮蒸汽被排入特制的輔助冷凝器中，以便大大地減少了在这些状态下所需供給的能量.

为了改善破冰船的自动操作性能，必須最大限度地縮小破冰船的长度，这特点要求設計师們最大限度地縮短动力装置的机艙总长度. 这个問題由于恰当地利用了机械装置艙房的高度而成功地解决了.

主透平发电机装在各段的上部，因为主透平发电机和螺旋推进器并不是緊密联系的. 主透平发电机的下部装着它們的冷凝器和蒸汽空气噴射器. 更下面，在艉艙中設置輔助机械和

蒸发装置.

在破冰船的头部,主透平发电机下面,在船艙的一个独立的艙房內,設置一个发电站,而在破冰船的尾部是两个側舷螺旋推进器的电动机.

动力装置的这样布置,不仅可以縮小装置的总长度到最小的限度,而且也大大改善了所有泵的工作条件,这些泵在进口处获得相当大的并有可靠保証的汲入水头.动力装置的相对重量是62.5千克/馬力.这保証了破冰船有高的調度性能.

主透平是单壳的,經过单級減速器和两个并联装着的双枢电动机极联結.利用单壳透平在略为降低其經济性目的,由于省去了減速器中惰輪和減少了軸承和密封的数目可以簡化結构,这样保証了联合机組有較大的可靠性.

輪叶装置采取了反动式,这样是比較簡单的,并且有較大的軸間間隙,这对負荷經常有剧烈变化的透平机是很重要的.

为了提高設备的机动性和簡化透平的設計采用了节气調节系統.主透平在全功率运行时需要51吨蒸汽/馬力·小时.

由于冷却水的相对消耗量(400立升/馬力·小时,而装柴油机的破冰船为50立升/馬力·小时)很大和装置的功率很高就需要特别研究关于連續地供应海水的問題,同时还考慮到冰箱引入孔被冰堵塞的問題.

根据冰試驗池里一系列模型試驗的結果,为汲取冷却水,在破冰船的尾部及头部各安装了两个側舷冰箱,附有外保护柵及內保护柵,冰箱通过底部溢流管成对的联結起来,每一側舷冰箱的通水能力可以保証一部分設备的正常工作.

設备的控制可以就地进行,也可以远距离进行.

图3、图4所示的是在安装結束后主透平及齿輪減速器軸的中綫及船尾傾差泵.

## 电 气 設 备

当破冰船在強行通过厚冰层,特别是在引航碎冰的情况下,对推进器电机的可控性要求是很高的,这个要求最好是用直流电机来达到.

在用直流动力系統时,相当簡单地用四台透平电机向三个推进器电动机供电,透平机以恆速旋轉,在螺旋推进器軸上由每个透平机供应的功率比为1:2:1.

这样的安排使我們可能給最不容易受到折損的中間推进器以一半的功率,因而当两側推进器之一折断的情况下还可以用出75%的功率.

推进器直流电机用1200伏电压,这种作法目前在造船中尚未見过.推进系統的連結图在图5中表出.

发电机是双級的,在电压为600伏轉速为595次/分时,每級供出1920瓩用通过空气冷却器的封閉循环系統自动吹风冷却,每个机組內有一个发电机是两級并联的,构成一个总功率为3840瓩的机組.

这样每个透平經过減速器仿佛是带动三台电机:两个各为1920瓩的及一个3840瓩的,容量1920瓩的机組用于对側舷推进器电机供电,而3840仟瓦的发电机則对中間推进器电机供电.因而每一个透平电机同时对三个推进器电机供电.

推进器电动机——双級,密閉型,經过空气冷却器強制通风,用两个压力輸油潤滑的固定軸承,中間推进器电机(图6)經常功率19600馬力(每級9800馬力)每級电压1200伏是一架单机,側舷推进器电动机的經常功率为每个9800馬力(每級4900馬力)每級电压1200伏.

每个螺旋推进器系統备有三台激磁机組:两个运轉一个备用,每一个激磁机组又由四个电

机組成：两架发电机的激磁机、一架推进器电动机激磁机、控制綫路的直流供电机和驅动交流电机.

发电机及推进器电动机的激磁机用了高放大系数的电机放大器. 用电机放大器可以使在启动及逆向时有平稳的过渡过程，在負荷改变，从不平稳状况直到在静水中可以保持恆功率，解决在推进器淤塞时在有电流下电机停轉，以及在水中倒車时能量由推进器向透平逆行的問題.

由于控制电机放大器不用大功率，在控制台上可以用小尺寸伺服机件.

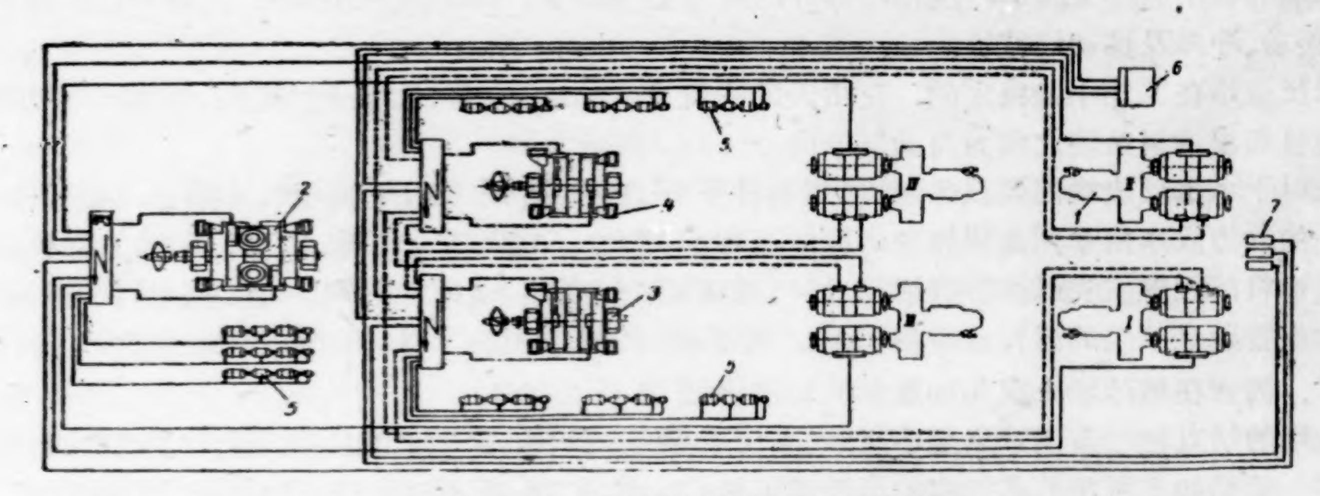


图 5 螺旋推进器电力設备系統图

1——推进机主透平机組； 2——推进机中間推进器电动机組； 3——推进机側舷推进电动机組1号； 4——推进机側舷推进器电动机組2号； 5——激磁机組； 6——遥控台； 7——行船控制器及控制站.

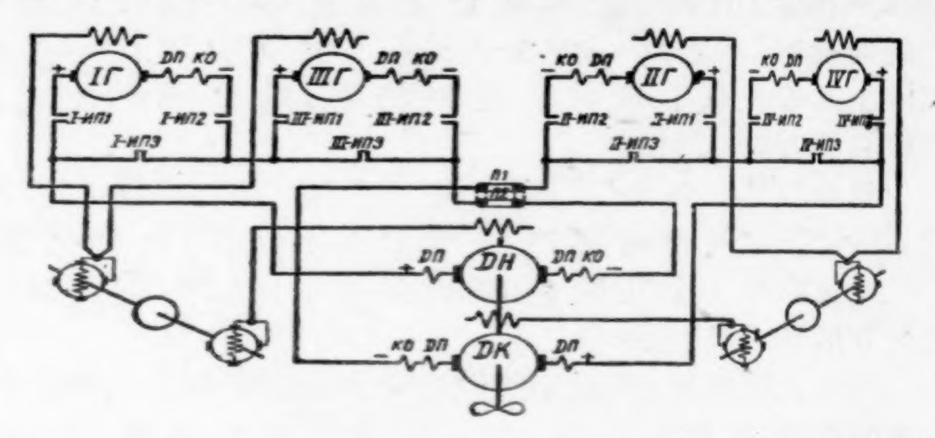
推进器設备控制系統設在动力控制台，它可以遥控三架机組的工作并监視机組的工作状况，在台上設有測量仪表，訊号灯及三个控制点. 遥控台位于行船控制室內，可由控制室或上层艦桥上进行控制，为监視工作情况，在行船控制室及艦桥上均設有信号屏.

每个推进器电机的供电綫路由两独立电路組成，每支中有一級推进器电动机和两个串联的分属于不同透平机的发电机，主要供电綫路图在图7中表出.

推进系統所有各种可能的工作状况由每个发电机单独的选择开关来选定.

輔助发电机，对船上輔助系統供电是五十週三相系統，这样可以在船上电力中用比較廉价而較直流非同步直接通路电机更可靠的电机.

所用380伏电压，保証了減輕电綫重量省鏌，并可以直接启动大多数的电动設备.



| 选择开关的位置 / 接触子 | I号发电机开动 | O | II号发电机开动 |
|---|---|---|---|
| ИП 1 | ╳ | | |
| ИП 2 | ╳ | | |
| ИП 3 | | | ╳ |

图 7 推进器电动机主綫路图

照明系統用127伏，这样就可以用大照度的灯絲型灯泡及小尺寸的螢光灯. 供电由两个配电站引出到各个用电处.

## 选择反应堆类型及数量的根据

在用于在北冰洋中引导船队及北极区探险航行的破冰船上，原子动力設备只能选择安全可靠、工作稳定、控制簡单的反应堆，在这类反应堆中有水水型反应堆，它用压力水作慢化剂及載热剂，为減少活性区內的結构材料量，反应堆放在厚壁鋼外壳里，它能經受循环水压.

由于水的优良的慢化性能，这种反应堆的活性区非常紧凑，外套壁也作为防护层的一部分.

水水堆的各个能經受高的內压力的部件的高度強韌性，几乎就保証了对破冰船的另一个要求：耐振动、冲击及搖动的特性.

水水反应堆在工作中是稳定的. 在很大的程度上，由于水受热时密度相当大地減少而产生的反应性負温度系数使之成为自动調节的.

虽然对于水水反应堆需要浓集鈾，应用它并不存在严格的經济限制. 第一，在用一般燃料的船舶上的动力成本由于用高級設备的原故是相当高的. 第二，（也是主要的）在极地条件下装运大量燃料的困难、在极地短期航綫上燃料装运船导航路綫的維护以及装燃料本身的复杂性大大地使普通破冰船的运行变得很昂貴. 原子破冰船在航行中有很大独立性，这些問題都不存在了. 因而在破冰船上应用加浓鈾的經济价值是肯定的.

水水堆的缺点在于蒸汽过热度不高，它是由于第一循环系水的温度不太高所致的，因而又不能用在一般船舶上所用的高效率的蒸汽透平机，与水水堆配合的透平机的效率較低，幷应从新設計.

从減小蒸汽发生器重量及尺寸的观点出发，最好是用一个高功率堆，但为了破冰船运行可靠起見（这是有重要意义的），至少应該用两个独立的能量来源，即至少用两个反应堆. 这样在任一設备发生故障或事故停堆时不致影响航行.

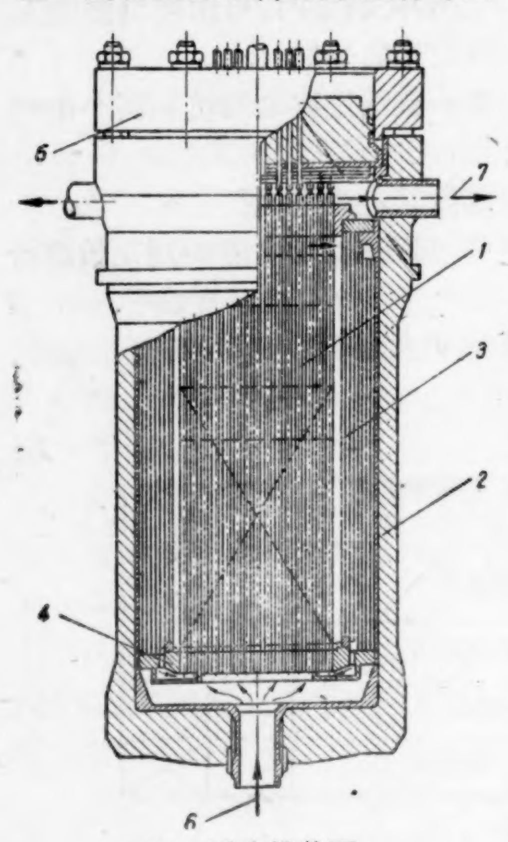



图 8　反应堆截面
1——管道；2——堆壳；3——屏蔽；4——下托底；5——盖；6——載热剂入口；7——載热剂出口.

为了破冰船具有极高的可靠性，在它上面决定还再安装一个反应堆，第三个反应堆应实际上是备分的，备分堆的存在幷沒有使設备的重量和体积增加太多，备分堆可大大降低用来补偿其他堆在停堆时过中毒現象的剩余反应性，同时可以提高燃料的燃耗，減少由控制棒引起的能量释放的不平均，減低活性区內的热負載.

这一反应堆只在破冰船在厚冰中前进时（就是需要它用最大功率工作时）以及在設备某部分失效时还須繼續工作的情况下，才用到一部分功率. 在反应堆之一損坏时，船实际上几乎一点不改变航速与功率，这是很重要的，因为破冰船必須为船队引路.

除此以外，备分反应堆使人們能在不关掉全部核动力設备的情况下及时对蒸汽发生設备作預防性的检修.

反应堆为一个正圓柱形的外壳，上部有密封蓋，在外壳內装有活性区及控制棒.

为防止反应堆的坚固外壳受到強輻照，也为了控制堆內水的流动，在堆內边緣部分設有特殊的屏蔽，屏蔽与水隔层一起也能起活性区反射层的作用.

具有外径約 2 米高約 5 米的堆外壳由低合金高強度碳鋼制成. 为了防止高温水的腐蝕作用在內层設有不銹鋼的

护层.

堆截面見图8.

## 堆的活性区

列出一个反应堆活性区的基本参数:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 直径 | 1米 | 燃料补充 | 硼天然同位素混合物 |
| 高 | 1.6米 | 热功率 | 9万瓩 |
| 燃料 | 烧結的二氧化鈾 | 最大热負載(計及发热不平衡) | $10^6$仟卡/每平方米·小时 |
| $U^{235}$浓集度 | 5% | 水的入口溫度 | 248°C |
| 装載量(按$U^{235}$計) | 85公斤 | 水的出口溫度 | 325°C |
| 保护外壳的材料 | 鋯合金或不銹鋼 | | |

由于控制棒由頂端插入活性区并引起中子場在活性区內高度方向的某些不平衡，活性区的高度超过其直径有助于克服碘区. 因为在提升調节棒时释放出相当大一部分含氙較少的、因而反应較高的区域. 除此以外,活性区的加长可以得到高的燃料燃耗率.

活性区的側壁反射层由一套鋼屏和鋼屏間的水隔层組成,共厚225毫米;而二端的反射层由水及鋼結构元件組成.

反射层同时起着承压外壳壁的热屏蔽作用,并使外壳的工作条件得到改善,因为它們大大地減少了从活性区內放出的輻射.

为了便于装卸燃料及安放調节棒，增加水在释热元件表面的流速并进一步調节反应性的溫度系数,释热元件集中放在管道中并构成释热組件,水在活性区內經过两个流程，它由下面进入中央管道,即热負荷最大的区域,自下而上通过活性区,稍被加热之后沿屏下降,进入边緣管道的下端，这些管道的热負荷較小一些. 水自下而上流动使水泵停止时可以促进活性区內的自然对流. 在管道之間的水流速不大，并与自中央工艺管內流出的水相混合. 选择烧結的二氧化鈾作燃料是由以下原因决定的,虽然自物理的观点看二氧化鈾較金属鈾不利,因为鈾原子密度小. 但从工程观点出发却宁可用二氧化鈾,因为它对水的化学性質不活潑,对輻射的稳定性高,到熔点为止沒有相变,在裂变碎片掉入循环系統时較易清除.

以全功率运行时反应堆的工作周期計算值为一年，但实际上破冰船可以在不加燃料的条件下継續工作几年，可以使个别管道或整个活性区超載. 在反应堆內也考慮到可使用不同的活性区和工艺管道. 几种活性区及工艺管的型号已經設計好了，对最經济及操作最方便的活性区和管道挑选工作的最后定案預备在破冰船使用过程中确定下来.

管道由棒状释热元件組成. 元件金属外壳由抗腐蝕的鋯合金或不銹鋼作成.

在建造破冰船过程中曾进行了压力下非均匀水水系統的物理計算. 对大量的苏联及国外关于临界質量的实驗数据进行了理論分析. 在試驗性堆及中子譜仪上研究了許多对中子計算必要的参数. 在这些工作的基础上就可以計算这些效应,如在鋯及鈾核上的非弹性散射、快中子增殖、中子在管道中及管道間的密度分布、超热中子作用等,并引入一些經驗的系数. 得到的計算法可以可靠地計算$k_\infty$,并准确到$\pm 0.015$,它对于計算运輸性装置是完全够了，也可能計算反应堆在控制棒影响下的溫度关系. 得出了活性区体积內的释热量分布曲綫，該曲綫可作为反应堆热工計算的基础.

为了減小反应性在运轉中(假定燃耗掉25%以上的$U^{235}$)的变化. 用了逐步燃耗硼的补偿法,它只加入堆的中央管道. 由于这样，中子場沿半径的分布就得到平衡，因而也減少了热負載. 一次装載后运轉的时間由于較均匀的燃耗而得到了延长.

在工作温度范围內活性区的温度系数是負的．这样就减低了危险性并易于控制，选择适当的系数的基础如下：在大的反应性負温度系数下可以在水温降低时释放出大量的剩余反应性．而为了抵消它就需要把調节棒加重或加多．再次，为了在所有过渡状况下減小水温变化就必須註經过活性区的水的热含量变化小些．这样就只能用大大增加通过反应堆的水流量达到它，随之蒸汽发生器的大小和重量也就都得变大．

活性区結构的选择要附合这样的要求，使在运行周期的初期活性区温度系数在一切温度下均为負值．

在运轉后期由于燃料的燃耗和其同位素成分的改变，温度系数只在工作温度范围內是負值．这样它就可以解放出剩余反应性并增大了每装一次燃料的能量取用值．在低温度(非工作温度)下存在一定的正反应性温度系数一点沒有使設备的使用发生困难．

活性区的結构还允許用改变管道間水温的办法細調温度系数．

在处理活性区問題时还需要估計它的一个特点：由于释热元件中燃料二氧化鈾的不良导热性以及释热元件的鈾芯温度很高(>1000°C)，释热元件的热惯性很大，如果主循环水系通水发生故障，那么在短时間內經过反应堆的水量将急剧下降．在安全棒动作后蓄热还会放出．它約需5—7秒来逐漸降低，而在这段时間的前期裂变产物的释能作用大大突出．

这就要求非常小心地处理主循环泵系的供电問題．在小功率时反应堆永远在不少于两架泵的情况下工作，并且它們由不同的电站供电，在大功率下，若有一架泵出了故障，过渡状况成为危险时，由不同能源开动的另一个备分泵就立即接上．这样的主循环水系就可以保証即使发生最严重的事故如电站損坏时，也能向活性区供水．

使反应堆的功率自动保持在一定水平或由一定功率換到另一功率由自动調节器来完成，它包括三根調节棒．这样的調节器有两付，一付是备分的，专供手动調节的棒这里沒有，通常用备分的自动控制棒来实行手調节．自动調节器的棒的传动系統見图9．

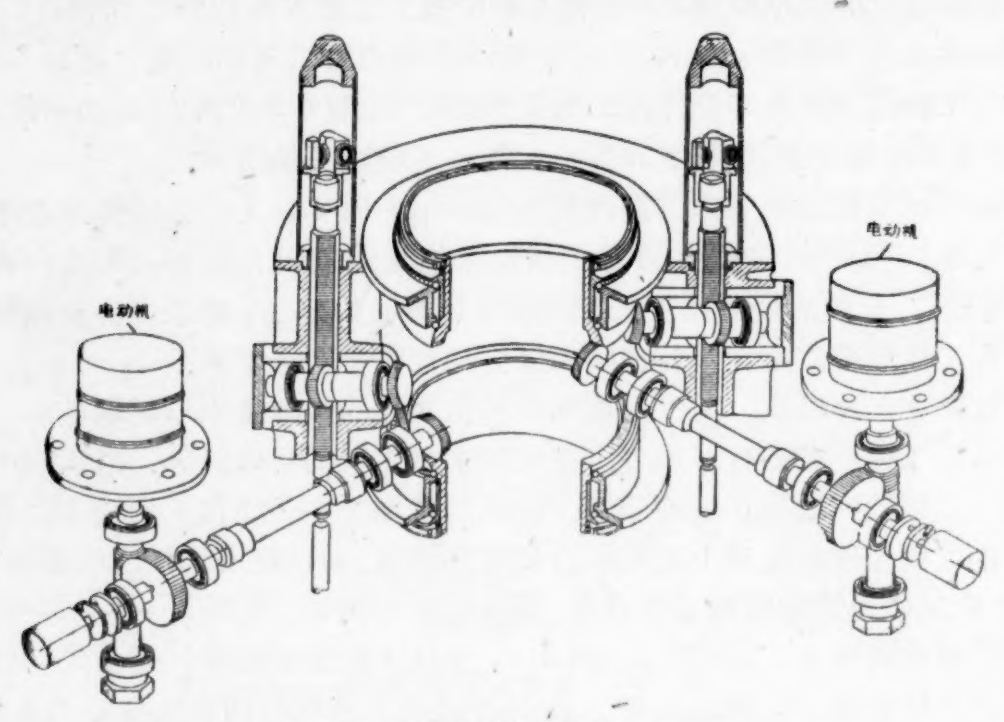



图9　自动調整系統图

事故停堆由安全棒来执行，它可以在0.6秒內投入活性区．

棒由馬达带动的齿輪驅动齿条而提昇，在馬达和齿条間置有摩擦离合器，它由电磁鉄控制，当电磁鉄断电时离合器释松，棒由彈簧投入活性区，設計允許控制棒能在短时断电后自动

复位.

由于中毒、燃耗、結渣而致的反应性的逐漸改变由特殊的片系統来补償，为了避免活性区內能量释出的不匀問題，它是用对中子的"灰"材料做的.

补償片系的构造可以換片，也可以改变片的位置，它这样就可以使根据实驗数据来矫正补償片. 使在一定补償片效率下避免中子場的畸变，由于系統的效率很高，应以不同的間距来移动补償片系，間距的大小与自动控制棒的效率相适应，为驅动补償片系使用了与第一迴路的水泵馬达相似的密閉型馬达，馬达通过減速器带动涡桿，涡桿就根据旋轉方向提高或放下补償系統的桿.

补償系統的剖面图見图 10.

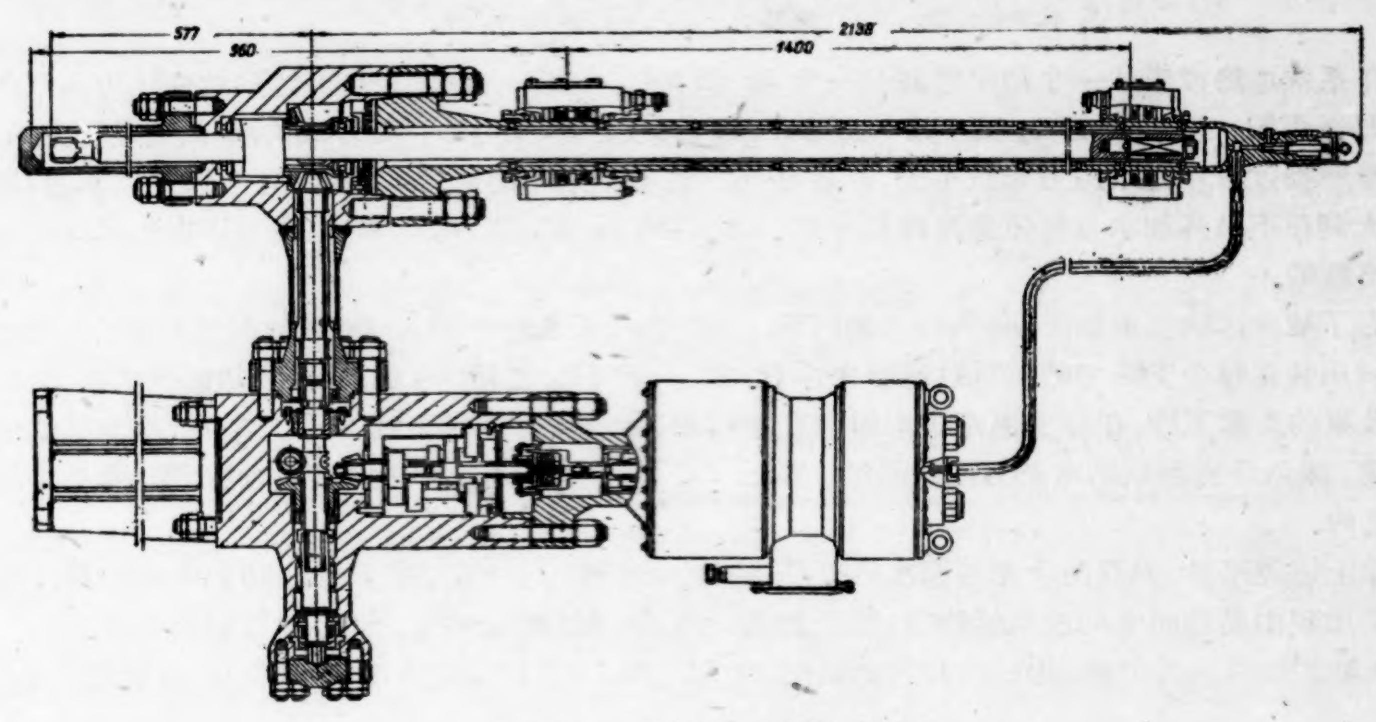



图 10 补償系統的剖面图

反应堆自动力站进行控制，在此处由各种仪表指示出主要的参数.

## 蒸汽发生設备

蒸汽发生設备由三个独立单元組成，在每单元內都包括反应堆和全套的輔助設备.

每单元的工艺設备都是双迴路系的，第一迴路——高压迴路——連結反应堆、蒸汽发生器、循环水泵、大容积貯水箱及其他設备. 在第一迴路中循环的是在 200 大气压下的过热水，流量为 1000 立方米/时. 第二迴路——中压力迴路——連結蒸汽发生器、带冷凝器的透平发电机、凝水泵及給水泵、平衡水箱等. 在蒸汽发生器內利用第一迴路带来的热量产生过热蒸汽，它送往主透平及輔助透平、透平泵以及其他需要的地方.

蒸汽发生設备原理图見图 11，設备全貌見图 12.

每个反应堆的第一迴路有两个独立的支路，每个支路都带蒸汽发生器、两个主循环水泵、事故备用泵、凈化器及冷却器，为了检修，支路可以由閥門与反应堆完全隔断，而反应堆可在減低功率下工作(低于 55%)，两个主循环泵中一个是备用的，它可以与主泵并車，这样在电站損坏或者一个泵損坏时还可以保証 100% 的流量，它由另一个电站供电.

为了在停堆或者主循环泵損坏时攜出剩余热量，每一个反应堆有两个事故循环泵.

事故循环泵在主循环泵停止工作时自动开动.

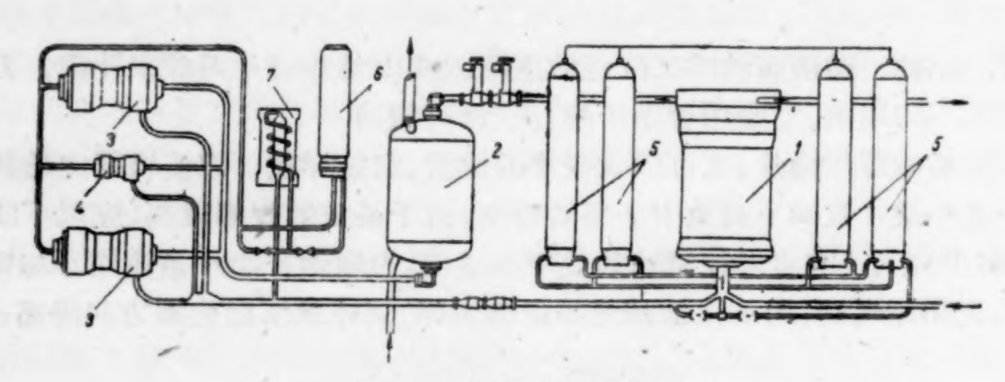



图 11　蒸汽发生器原理图

1. 反应堆； 2. 蒸汽发生器； 3. 主循环泵； 4. 事故泵；
5. 体积补偿器； 6. 过滤器； 7. 过滤冷却器.

在系統加热或者从一个功率轉到另一个功率时，第一迴路中水体积的变化由蒸汽体积补偿容器来平衡，它可以相当地減小第一迴路的腐蝕过程速度，貯水箱的体积是足够大的，使得在功率轉换过程中迴路压力起伏不大，并且在发生相当程度的漏水时还能保証供水量，貯水箱体积大到在不另外加水也能使迴路冷却下来．体积补偿器的結构使得可以拆卸損坏的电热器并更换新的．

为了減少污物在散热面、轉角口上的沉积，并为了減少第一迴路放射性起見，在分支迴路中可以用装在每个支路中的特殊过滤器来淨化水，淨化之后的水用于冷却循环水泵，为保証过滤器及泵的正常工作，在分支迴路中水温度在特殊冷却器中降到 35°C 以下，冷却器位于过滤器之前，流入分支迴路的水約为主流量的 1%，反应堆及包含放射性水的水管、設备均放于防护层之內．

除上述迴路外，尙有两个充蒸餾水的低压輔助迴路，一个用于导出防护中的热量．由于水中可能出現由腐蝕而来的放射性物质，整个迴路装在防护物內，因而也叫做內迴路．

在防护物外的外迴路，用以冷却內迴路的冷却器、过滤器的冷却器和泵、电动机的启动机．

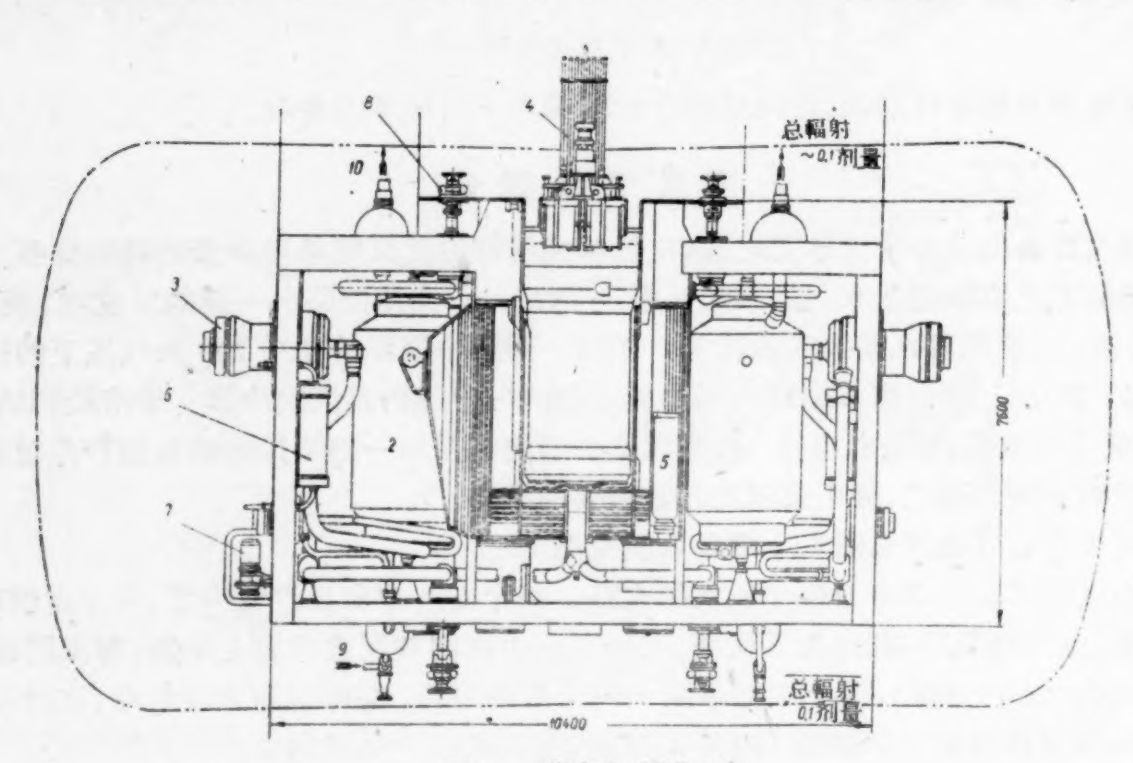



图 12　蒸汽发生器全图

1. 反应堆； 2. 蒸汽发生器； 3. 主循环泵； 4. 控制、防护装置； 5. 过滤器；
6. 冷却器； 7. 內循环泵； 8. 第一迴路閥； 9. 供水結門； 10. 蒸汽輸出口．

外迴路的冷却器由特殊泵供給的海水冷却.

若干串联迴路是为了避免海水沉淀污染器表面及起腐蝕作用.

为观察及检查蒸汽发生系統,装置有熱功系統、剂量系統的控制和訊号系統,在工作不正常时,这些系統就給出信号,在离正常情况較大时給出預告訊号,在事故时迅速停堆.

熱功检查及訊号系統集中于控制台及訊号板上,位于船的动力站內.

熱功检查仪表的传送器安装在特殊的房內.

在所有蒸汽发生器的工作状况下保持恆定的蒸汽压力,它由两个互相联結的系統来实現:鏈鎖反应的調节与第一迴路中載熱剂与第二迴路水之間的熱交換調节.

反应堆由控制及安全系統控制在一定功率水平上.

事故系統在得到关于堆功率昇高、循环水中断、反应堆出水口水温增高、第一迴路压力大大增高或減小时的訊号时立即开始动作.

为減少在过渡过程中第一迴路水温度的跃增,必須使堆功率变化与供水流量的变化协調起来,自一个功率过渡到其它任一个功率时(在正常值 10—100% 間)不超过二分鈡.

在不同工作情况下,調节热交換用控制水門的方法实現,它控制輸入蒸汽发生器的水量.热交換調节系統的传送器是放在反应堆第一迴路入口处的热电偶.

第一迴路的水从反应堆直接送入蒸汽发生系統的水管,它分为九段,蒸汽在管間空間产生.蒸汽发生器为一直立的鋼圓筒,在它的管道系統里有預热、汽化及过热三个区域;每个蒸汽发生器的总面积为 375 平方米.

蒸汽发生器的产量由用改变第二迴路水量,因而改变每个区域面积的大小来調节,这样就可以在第一迴路水的体积流量保持恆定时及設备以任何状态工作时,都保持蒸汽恆压,第一迴路的水經过蒸汽发生器,冷却后进入主循环泵,泵为离心无密封式的,与电机装在同一机壳內.电机为密閉式、非同步三相交流、轉子短接型,功率約 250 瓩,輸水量每小时 500 立方米,水头 100 米水柱,电动机定子与轉子間用鎳鉻合金套隔开,整个定子体又是密封的,因而甚至在封套破坏时設备还是密閉不透水的,轉子鉄片用电机鋼制成,"鼠籠"轉子是用鋁澆注轉子槽构成的,为避免腐蝕,轉子两端用鋼盖、直径外緣則用封套封合.

轉子軸在两个静压式軸承中轉动,它是用特殊的、含司太立(含鈷、鎢、鉻、鉬)合金鋼制成,为抵抗軸向压力在軸上装有套环.

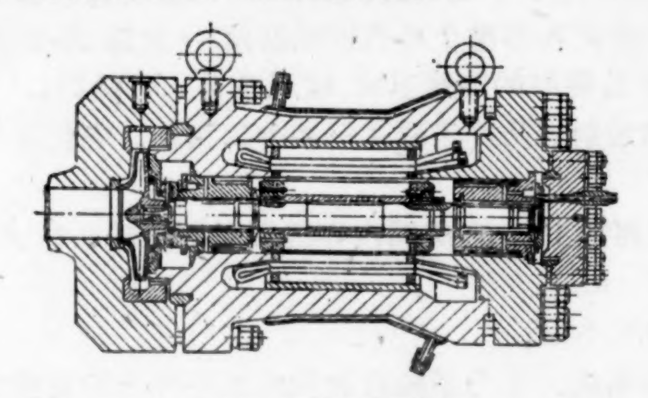


图 13 主循环泵截面

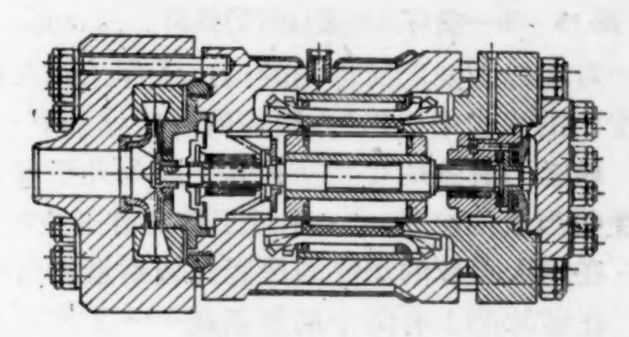


图 14 事故泵截面

泵为密閉式,单向軸向引入口,与电动机軸外伸連接,为分散軸向压力,泵两端均用多节密封,主迴路截面图見图 13,泵的电动机由經过淨化的第一循环水冷却,也由外循环系水冷却.

事故备用泵作为攜出剩余热量之用,它也是离心式,与密閉式电机在同一机壳內,构造与主泵相仿,不同仅在用了特殊塑料軸承代替了静水压力式軸承.

事故泵截面見图 14.

在第一迴路里用的双向閥門具有电动和手动两种操作方法，正常状况下閥門打开着，在这种位置下封套由于軸桿位于机壳的一个特别位置上而不受到压力．閥門的截面見图 15．

为了使工作人員不受到反应堆輻射作用，蒸汽发生器及第一迴路設有生物防护层．

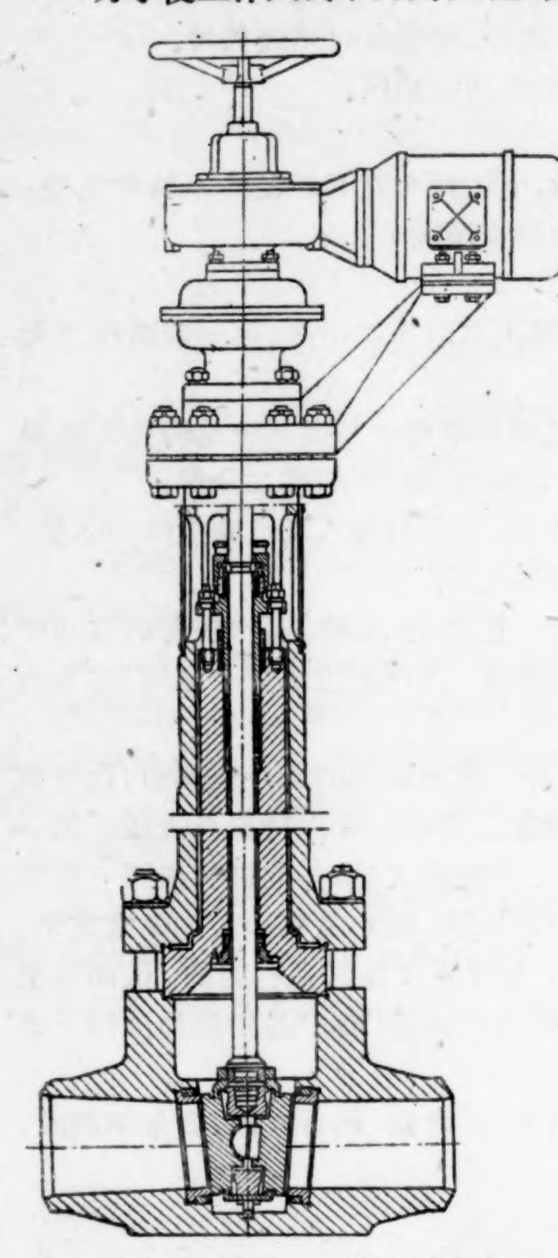


图 15　第一循环系栓塞(活門)截面

防护的基本材料选择了鋼与水的組合，鋼与水的体积約相等，这样可以相当大程度地減少防护的大小，仅在某些表面很复杂的地方（堆頂上安有主要管道的地方）由于构造的考虑用了重褐鉄矿混凝土．

防护放在通水的水槽中，在防护层中发出的熱量由內循环冷却器带走，为避免在水槽漏水时防护減弱，用 3 分段水槽，第一迴路的一部分設备构造采取了这样的安排，使它們也同时是防护堆內輻射的一种設备．

所有第一迴路的带有放射性水的設备与工作間均隔以厚 300—420 公厘的鋼板．

动力設备 3 米以外的輻射強度約为 0.1—0.3 剂量．

图 16 是反应堆体，图 17 是装好的反应堆頂部，图 18 是蒸汽发生器和主循环泵．

## 安全防护

普通的航海事故——与其他船相碰，被冰挤压，擱浅——破冰船都不怕，因为它具有不寻常的堅固的船体，甚至船体极大的損坏，坏到使任何两个主不透水段进水时也不会使破冰船沉沒．

它的蒸汽发生器装置由于預計在工作中受 225 大气压、而在室温試驗时經耐 350 大气压的各个部件构成，因而在最极端、一般講来不可能发生的沉沒情况下，在极大的深度下也不会发生損坏，而使裂变产物泄到水中，除此而外整个蒸汽发生器第一迴路設置在 300—420 公厘厚的鋼墙里面，这又是另一种防护．

对在船上及船所停泊的港口工作工作人員的放射性防护采取了一系列的措施．它将在一定专門的报告中提出*．簡短的可略述如下：

核动力設备的生物防护是达到如此程度，使經常工作的房間內穿透輻射不超过 0.2—0.5 毫生物当量倫琴/秒（8 小时工作允許剂量的 0.1—0.3）．

在絕大多数的居住的房間內輻射量相当于自然本底．

在破冰船上有两个剂量系統——工艺及生物系統．工艺系統检查释热元件外壳的完整性及整个第一迴路的不透水性，它由一系列要放在第一、第二迴路中的传送器及安放在船动力站上及剂量站上的第二級指示仪器及訊号仪器构成．生物剂量系統检查測量工作人員受到的外及內輻射量，保証他們的安全．

* 西文切夫 (Ю. В. Сивинцев)，波罗奇 (В. Г. Пологих)：在原子破冰船上的輻射安全系統，第二次 (1958) 日內瓦国际和平利用原子能会議上的报告．

工作人員的个人剂量检查及防护由以下設备来实現：在蒸汽发生器工段工作的人員一律穿特殊工作服；离开工作段时，一定要經过工作人員剂量检查．总剂量是用个人可攜带剂量計（ИФП 型电容剂量計）测定．

在接近蒸汽发生器房間內都有固定剂量計．当在这些房間內超过剂量时就向中央剂量站、房間出入口、传送器位置上都給出訊号．

在所有可能发生沾污的蒸汽发生器設备房間里，由特殊通风保持低压．愈有輻射危险的房間低压度就愈大．由蒸汽发生器房內抽出的空气經过空管桅竿送出．

从某些特别易于引起微尘的蒸汽发生器設备房間內抽出的空气在送入空桅前經过特殊空气过滤器．

需要一定时間貯存在船上的沾染水，由其沾染程度不同分别放入容量 10 立方米的防护废水箱或者容量为 3 及 25 立方米的无防护水箱內．

航行期間修理仅限于第一迴路水完全不洩出或者一部分洩出的情况．建議这种水仅仅在一定的破冰船检修地点才由废水箱內排出．但就在船上也可以用貯存或者在第一迴路的特殊淨化濾过器中过濾的办法把它的放射性减小到每立升 $5\cdot10^{-9}$ 居里，也可以用与污水箱連接的交換器清洗．

即使在事故状况下，抛入海中的水也将保持不超过按目前規定的允許沾染浓度．

# 論小剂量电离輻射的生物学作用*

列別金斯基(А. В. Лебединский)　格里哥里也夫(Ю. Г. Григорьев)
捷米尔佐格艮(Г. Г. Демирчоглян)

估計小剂量电离輻射对生物体作用的效果是放射生物学的复杂部分之一．在决定生物学者称为小的物理剂量时已产生明显的困难了．

最簡单的看法是将小剂量看为那样的剂量，即它对于某种生物反应是閾值的或者接近于閾值的．但是这种在一般生理学上用来解决其他种类能量方面的相同任务时所应用的测定，在电离輻射上是不能采用的，因为，一般說来对物理因子大小的生物估价是采用和适应的生理反应来作为标准的；而电离輻射作为一个“一般刺激者”，它不能在机体內引起任何相适应的反应．因此，为了解决既定的任务，必須选择另外的道路．

估計到两种情况是較为全面的：小剂量的长期照射和小剂量的短期照射．

在第一种情况下，应用对輻射的自然水平的比值，作为規定小剂量的标准，看来这种做法是正确的．因而我們把超过自然水平 10 倍或 100 倍的任何剂量定作是小剂量．应該注意自然水平差別有数十倍的可能性，从每年 0.1 倫到每年 1 倫，可以假定小剂量的低数值为每年 10 倫，即 10 倍于自然放射性的最高水平．要找出决定小剂量的数値的任何根据是比較困难的．可假定每年为 100 倫．在这种情况下，估計小剂量輻射的生物学效应时，我們将只观察在上述剂量范围內所产生的現象．这个范围有一定的实际意义，因为我們所用的小剂量高数値約为在生产条件下，一年中总的最大容許剂量的五到七倍．

这种确定的条件性还在于按实质說来，承認輻射的自然水平不具有生物学效应这一点，是沒有足够可靠的根据的．

当輻射作用为时較短时，要确定“小剂量”大小的概念就特别困难了．可以假定将对某些生物学过程有效应的剂量称为小剂量．应用这一标准，則 0.05—5 倫可以称为小剂量了．（下面将談到）

解决小剂量生物学作用問題虽有一大堆困难，但此問題引起了极大的注意．这首先由于試驗核和热核武器引起各处放射性自然水平的提高，这种提高对于生物机体的可能后果如何，必須給以实驗有根据的回答．如不先解决小剂量輻射影响的危害性，我們仍不能对超过自然水平而被定为最大容許剂量范围內的剂量，作出可靠的生物学估价．此外，在小剂量范围內研究生物效应可以在更“純粹”状况中来分析它——沒有使基本反应复杂化的現象(过敏反应，感染等)，因而这样的研究可以帮助观察生物系統对电离輻射作用的反应的特点．最后扩大我們关于接近自然水平的剂量的知識，使一个有很重要的生物学意义的問題的解决变得容易些，即輻射的自然水平在生命現象中的作用．关于外界环境其他类型能的生物学作用和它們在有机体生命活动中的作用是已圓满洞悉的，与此相反，对射綫的生物学作用問題的了解还是有缺陷的，因此扩大这方面的知識是十分重要的．对上述因子的作用机制是有足够准确的生物物理概念的．至于說到电离輻射的作用，則对它們估价只有根据零星的数据．

一般認为在小剂量輻射作用时，可以产生遺传效应[1-3]．提出足有根据的假設，在小剂量长期輻射作用下，同样可以看到某些远期軀体效应（癌瘤，白血病）．这些效应应归入特殊的一类，因为在两种情况下是針对輻射和对缺乏再生能力的变形系統的作用而言(这个特点需要

* 本文为苏联在 1958 年第二次日內瓦和平利用原子能国际会議上发表的文献．

专門的探討，超出了本文的范围)。

但除了遺传效应和远期躯体后果外，証明小剂量电离輻射具有一系列的直接效应。放射生物学这方面的現象較易进行实驗研究，而小剂量輻射的遺传效应和远期躯体后果方面的研究，一直到現在不得不用外推法。

現在积累了大批实驗材料，它們証明小剂量輻射对生物体作用的一系列效应的观察是可能的。

在 0.3 倫剂量作用下，可看到大腸菌 (Escherichia coli) 溶素效应的改变[4]。

最近几年，出現了很多关于血液循环系統对电离輻射高度敏感性和重新分布机制的报导。例如有些材料指出，在剂量为 0.1 倫和时間为 0.1 秒作用下，可观察到血相的改变。16—60 毫倫剂量作用后 30 分鈡卽发生白血球数目的减少[6]。0.002—0.03 倫剂量每天重复照射，延續 117 星期后，白血球数目减少 99%[7]。

指出生殖腺和性細胞对小剂量輻射作用是高度敏感的。在約 1 倫剂量作用下，雄性动物的精原細胞发生改变。一星期內接受 3 倫作用的狗，其精子数目，运动能力和生活能力起了改变。每天剂量为 0.1 倫，經 15 个月照射后，雌小白鼠的性周期遭受破坏[8]。在剂量为 2 倫时，观察到最重要的輻射生物效应之一——大白鼠角膜上皮細胞分裂的暫时抑制[9]。

因此，在我們訂出的"小"剂量范围內观察到一系列輻射的生物效应。

在小剂量的直接效应方面产生了对它們的整体生物学估計問題。

一方面，可以把直接的躯体表現看作是个别特别敏感的生物系統反应的局部表現。在这种情况下，生物体在小剂量下的反应与大剂量下的反应不同；后者經常是局部与整体 (反映出来的)效应的复杂結合。这一了解使在大小剂量作用下的反应，按实质說来，是不可相比的。另一方面，有根据可以假設，在小剂量下观察到的反应亦按在大剂量作用下的反应的类型来进行的，卽这些反应的发展是由于局部变化，也由于反映的影响。在这情况下，动物对小剂量輻射作用的反应可看成是特殊的，沒有其他現象摻杂的反应，这些現象在大剂量下不可避免地与"损伤"作用因素相联系在一起的。

現在都知道反映影响是由于神經和与其聚密联系的內分泌机制参与到照射的反应中来。因为曾經观察到在小剂量下神經系統加入到机体的反映里来，所以，第二个观点是可以以試驗来証明的。

通过观察神經系統功能状态的改变，可以确定它是参加照射反映。研究相适应的反射反映的进行是估計中枢神經系統功能状况的大家所采用的方法。

用記录貓脚的枕部汗腺电位方法来研究內脏反应 (列别金斯基实驗室)观察到，50 倫 X 光的整体照射，在用电刺激丘脑相应中枢下，引起汗腺电位兴奋相位的改变(图 1)[斯米尔諾娃(Н. П. Смирнова)]。

借脑电图方法的帮助，研究治疗时，照射人的头部和腹部时大脑皮层的功能状况[10-11]。业已确定，由于皮层顳顬部直接受到放射性鈷的 $\gamma$ 綫照射 (剂量強度 7.6 倫/分)，发生了脑电的明显压抑，这种压抑照例是出現在生物电流活动提高期，描記波动节律改变以前。照射后30—120 秒卽在总剂量为 3—4 倫时，卽看到生物电流的加強。照射腹下部，大脑半球皮层亦有同样明显的反射性改变，并在这种情况下皮层活动性的改变是带有位相性质(图 2)的。

兔子的实驗研究証明以前在研究人时获得的資料。50 只兔子遭受 $\gamma$ 整体照射并描記了脑的生物电活动性。照射在特别的装置下进行，剂量強度为 0.13 或 0.03 倫/秒。动物在均匀場下进行照射。在照射的整个时期都描記了脑活动电位，并結合予以継續增长強度的光刺激。(按照利万諾夫 М. Н. Ливанов 方法)

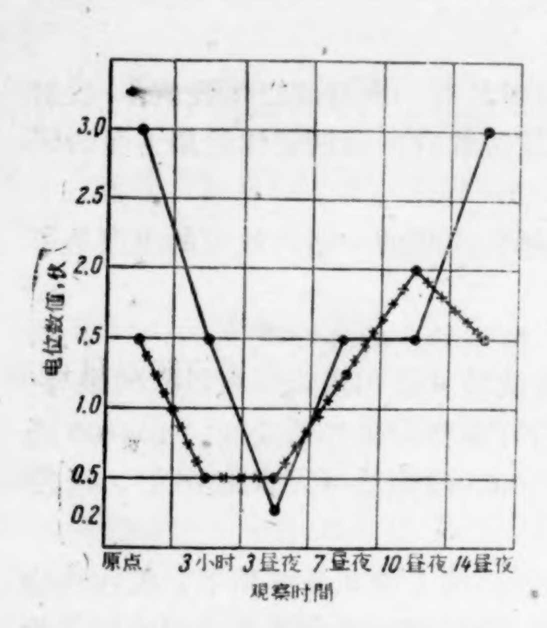



图 1 在整体照射剂量为 50 倫后时下丘脑部刺激閾的改变(两个貓的研究材料)

在射綫作用基础上,应用光的刺激証明,照射一秒鈡內,剂量达到 1 倫时,皮层的反应性与兴奋性卽改变. 在照射的第十秒鈡內 20 个实験兎子中的五个提高兴奋性,但到第 60 秒鈡(剂量 7.8 倫)发生了兴奋性的降低. 此后,在照射后开始的 5 分鈡內可以发現閾的极端不稳定性,这为照射前所沒有观察到的.

照例,在改变皮层兴奋性的同时,一定发生其反应性的降低,甚至对光刺激反应的完全丧失.个別兎子对強的光刺激发生抑制反应,按巴甫洛夫的定义,可能是属于超限抑制情况.

因而,用脑电流图方法得以証明,小剂量輻射影响的結果,与改变电活动性同时,可以看到大脑半球皮层反应性和兴奋性的改变.

給机体注入很少量放射性物质时,得以观察到脑电流图的改变. 如給狗靜脉內注射 $P^{32}$ 制剂(活性 0.05 微居里/公斤),五分鈡后,在部分动物中看出脑电图上电位幅度的稍微降低. 在这些实験中,放射性为 0.1—1 微居里/公斤的 $P^{32}$ 时,观察到波动頻率和幅度明显的改变[13].

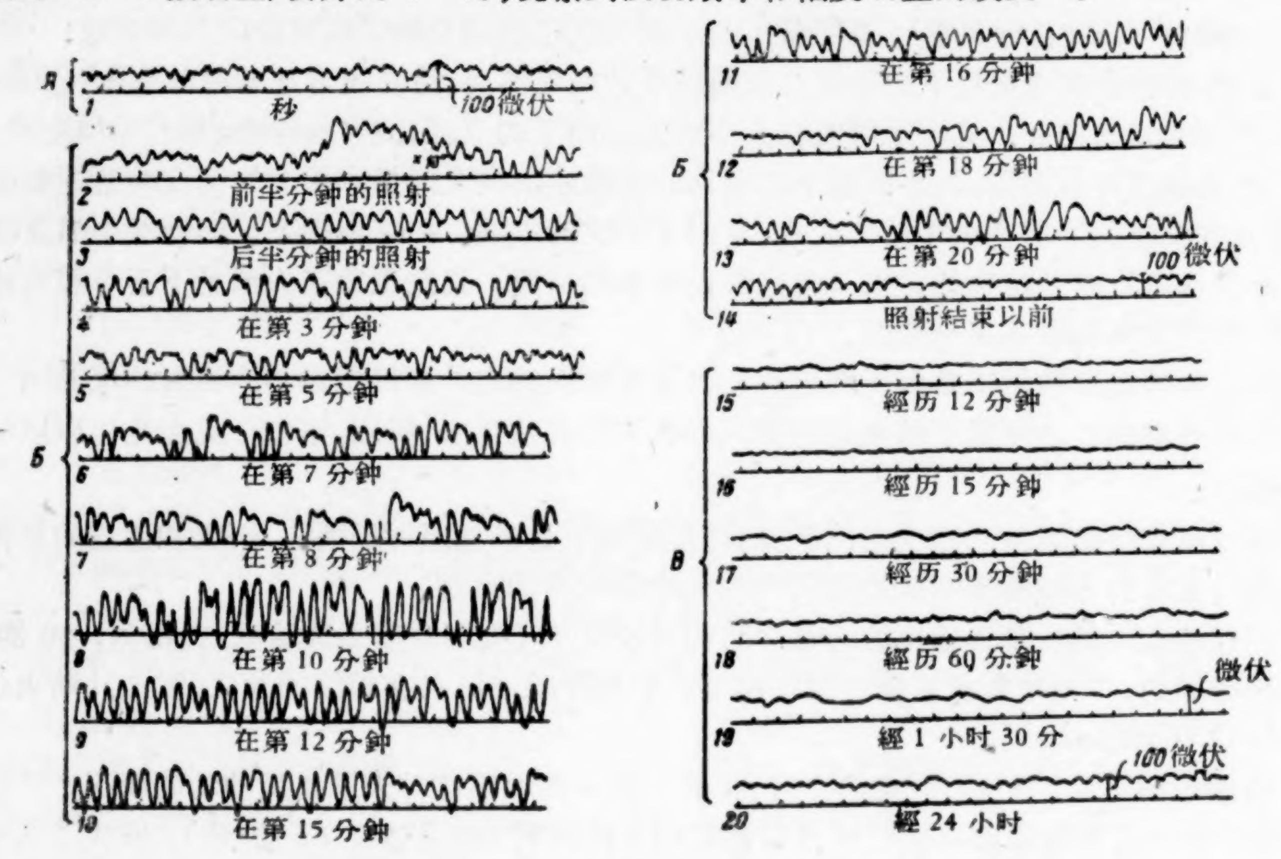



图 2 当 $\gamma$ 照射人的腹部时,大脑电活动性的最初改变(后枕部生物电)
*A*. 照射前 *Б*. 照射期間 *B*. 照射后

因此在照射时和照射后描記大脑生物电的活动性,以及在放射性同位素进入体內时可以观察到在小剂量照射影响下有改变存在. 这些材料証明,在这种情况下,反应的到来是相当快的.

大脑的敏感性和脑电波改变的特点,很大程度上与基质的最初状况有关. 当研究中枢神經系統对照射的早期反应和它原来的状况的依存性时得到有意义的材料[11]. 用一次治疗量的

不同种葯物(咖啡因,布洛姆拉,金鸡納霜)来进行研究. 在中枢神經系統原来状况不变下，观察到的脑电波改变,与服用咖啡因后,发生生物电流水平的較早的及較显著的降低不同. 生物电活动性的阻抑是在沒有事先加強位相下出現的. 在布洛姆拉* 作用下，照射时脑电波的改变,表現得不甚明显:照射时只发生很少的生物电流的阻抑,服用金鸡鈉霜后，照射时，脑生物电位的降低是很少的,并且很短暂的.

在精神病患者也看到大脑皮层对指示剂量的放射性同位素的敏感性有很大的提高[14-15].

从此得出,机体中个別器官对小剂量电离輻射的敏感性,可以用改变机体原来功能状况或同时在一系列不同因子作用条件下的方法大大提高.

因为神經系統在互相交迭因子作用下，具有明显代償的可能性，对获得的結果进行評价时,可以認为,这些結果并不表示神經系統敏感性界限的特点. 所以,为了解决提出的任务,研究小剂量輻射作用,应該用对发生的变化具有最低的代償能力的系統,作为这样的对象,应用了游离蛙眼的网膜;以温血动物的网膜作为試驗的对比. 网膜对輻射的高度敏感性,一方面表現于电离輻射(放射性璘)对它直接刺激的可能性,另一方面在弱的射綫作用下,它的功能特性有很大的改变.

很多作者研究了电离輻射对眼的作用下，产生光的感覚(例如[16]). 大部分研究者認为X射綫和放射性磷是电离輻射能轉变为光輻射的結果(眼組織的螢光現象)，这种光輻射为网膜感受器所接受. 但是不能排斥电离輻射的光子对网膜圓柱和圓錐細胞的直接作用的可能性.

以直接的电生理学实驗确定,X綫对网膜的作用引起在网膜节細胞里放出神經冲动[17],也出現微弱的电位，它不同于眼网膜电位記录——对光刺激的生物电反应——不同之点在于沒有潛伏期,較簡单的曲綫图形和更小的幅度[12,18-19].

在較大剂量电离輻射作用后,关于网膜功能特性的改变,形态結构，組織化学和代謝的改变,到現在为止,积累着很多有趣的材料. 但正如近年来某些研究所示，在弱的內照射或外照射下,眼网膜功能特性也起着重要的变化. 在实驗中游离的蛙眼遭受到X綫的局部照射,剂量为10—300倫. 应用描記眼网膜电位的方法来估計其功能特性. 闡明了在照射后立刻出現网膜电位波幅度的增大,以后便是网膜电反应的降低. 实驗的結果如图3所示. 以10倫照射蛙

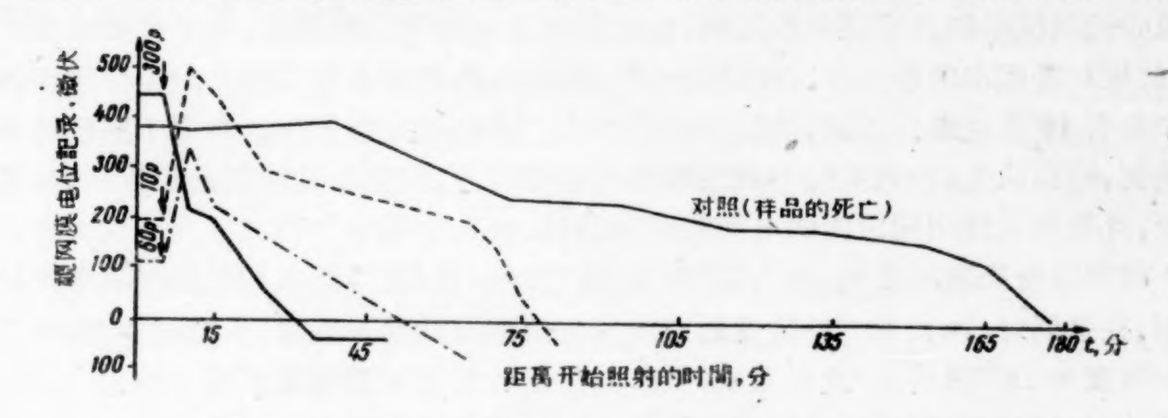



图3 用剂量10,60和300倫照射蛙眼网膜时,网膜电位图变化的动力学

眼网膜时，在第78分鈡已观察到网膜电位記录的完全下降,60倫照射时为52分鈡,300倫照射时一般沒有网膜电記录的增高,并且在作用后的第30分鈡,观察到生物电反应的完全压制. 以所引的材料和对照实驗对比,不难看出，弱的射綫作用引起网膜功能特性的很大变化(用視网膜电位图测定). 照射更快地加速网膜的“死亡”过程.

---

* 催眠类的物质.

在小剂量放射性磷，特别是鍶的影响的实验里，更清楚地表明网膜的高度射綫敏感性。

提米尔佐格良，阿东茨（Г. Т. Адунц）和阿瓦卡揚（Ц. М. Авакян）研究了放射性磷对蛙眼网膜功能特性的影响，放射性磷直接加到含有网膜的敞开的游离眼杯中。作为組織第一个应答反应，观察到网膜电位图波形的加大，在这以后立即出現波形的完全压抑．用含有同样数量的稳定性磷的对照溶液加到眼上，网膜电位图的改变則显得較小。

用兎子作研究，剂量为 $1.7\times10^{-3}$ 微居里/克放射性磷，进行靜脉內注射[18-19]．对照組实验在同样条件下注入含有稳定性磷的溶液．注射放射性物質（每只兎子用 3.6微居里）后，立刻发生网膜电位图"В"形波幅度的某些增大，然后漸漸降低，一直維持 15 分鈡：在实驗的第 25—30 分鈡网膜电位图波形幅度回复正常．在以后数天中，从两个眼睛中描記网膜电位图．注射放射性磷后第三天，网膜电位图"Б"形波的高度超于正常水平的一倍多．然后（在第 6 昼夜）观察到网膜图的減弱位相"Б"形波的幅度增加是在 29 昼夜．除外，动物外週血液成分也看有很大改变。

实驗証明，网膜功能状况的改变，比起血相变化更早地看出来．

莫托卡娃（К. Мотокава）与其他人[21] 的观察結果同样証明了中枢神經系統对电离輻射的高度敏感性。研究人类視觉器官对电流刺激作用产生膦兴奋性閾，作者看到，在 X 光照射的影响下发生眼睛兴奋閾的提高．上述現象在 50 毫倫时可明显地观察到：反应在照射后立刻出現，乜漸漸減低，并在以后五天中一直保持着（急剧期）；殘余的現象在十天中緩和下去（緩慢期）．

从現代的观点看来，視察器官对电流的兴奋性，是由中枢神經系統功能状况来决定[22]．所以，材料[21]仍是神經系統对电离輻射高度敏感性的一个証明．在这些实驗中，日本研究者观察到的輻射影响的綜合現象，由于綜合的結果，重复的照射的作用表現得越来越大．同时，这証明甚至在小剂量电离輻射后果下，在中枢神經系統发展着很重要的痕跡过程．

列別金斯基和提米尔佐格良作的实驗，研究小剂量放射性鍶对眼网膜功能状况的影响，表現得特別典型。

試列举出在这方面研究获得的某些材料．实驗是用蛙的游离眼睛制品，該制品在长时間內（数小时）保持着对光刺激发生网膜电位記录的能力．在剜出的蛙眼球中切除前半部（虹彩，晶体，玻璃体），只剩下含有网膜的杯，保存在潮潤盒中．

用稳定性同位素鍶作对照試驗証明，給眼杯加上一滴氯化鍶溶液，只有在較大的浓度的溶液中，其效应与蒸餾水的差不多．在放射性鍶溶液中，鍶浓度是极小的：一个微居里相当于一升溶液中含有 $10^{-15}$ 克鍶．因而，估計到浓度为 $10^{-3}\%$ 的稳定性的鍶，作用于网膜时差不多完全沒有改变，可以認为，我們实驗中应用的放射性鍶溶液，只能以其放射性起作用，在具有效应的情况下，此效应只能用同位素的电离輻射来解释．

图 4 說明这些实驗的結果，加入鍶$^{90}$溶液（$10^{-4}$ 微居里/立方厘米），引起网膜电位記录波的迅速減弱，在这同时，加入 $10^{-3}\%$ 浓度的对照氯化鍶溶液的另一眼睛，只有很少的減弱．

加上浓度为 $10^{-5}$微居里/立方厘米的鍶，其作用效能与对照溶液沒有分別．

所述的材料証明放射性鍶对眼网膜的高度活动性和小剂量 $\beta$ 輻射的生物作用的可能性．

进行計算表明，若加入鍶$^{90}$溶液的放射性为 $10^{-4}$ 微居里，制品之放射性等于 $1.6\times10^{-10}$居里眼，則这相当于 $3.1\times10^{-9}$ 居里/克．这样的輻射源为 0.15 物理倫琴当量/昼夜或 $10^{-4}$ 物理倫琴当量/分．估計鍶$^{90}$—鈇$^{90}$的 $\beta$ 粒子平均能量为一百万电子伏，放出的能量为 $8.4\times10^{-3}$ 尔格/分或 $2\times10^{-10}$ 毫卡/分．众所週知，放射性自然本底由 $7\times10^{-5}$ 物理倫琴当量/分組成，相当于 $6\times10^{-3}$ 尔格/分或 $1.5\times10^{-10}$ 毫卡/分．从这些計算得出，用的放射鍶剂量只是稍高于自然輻射的本底．在同样实驗中，放射性鍶浓度更小（$10^{-5}$ 微居里/毫升）照射水平是小于本底，自然不

能引起重要的变化。

为了闡明得出的結果，必須估計到网膜电位記录发生过程的特性。在网膜进行的和决定它对光的敏感性的光化学过程是十分主要的，这个过程由含在視紫紅質（радопсин）和其他視色素蛋白質栽体中的硫氢基状况而决定．如瓦尔特（G. Wald）[23]的研究說明，用硫基毒物联結硫氫基，使光化学过程和恢复成为不可能正常进行。从而影响了网膜的生物电反应。所以，对小剂量电离輻射对网膜功能影响本質的一个可能的解释是破坏了硫氫基的正常状态，硫氫基为放射水解产物所氧化．同时，列别金斯基和皮依麦尔（А. И. Пеймер）[24]研究証明，网膜电运动力的再生和对光的敏感性与代謝过程的状况极为有关，特別是碳水化合物的代謝．因此，由于照射眼睛，碳水化合物的改变，同样也可以引起网膜功能特性的重要改变。

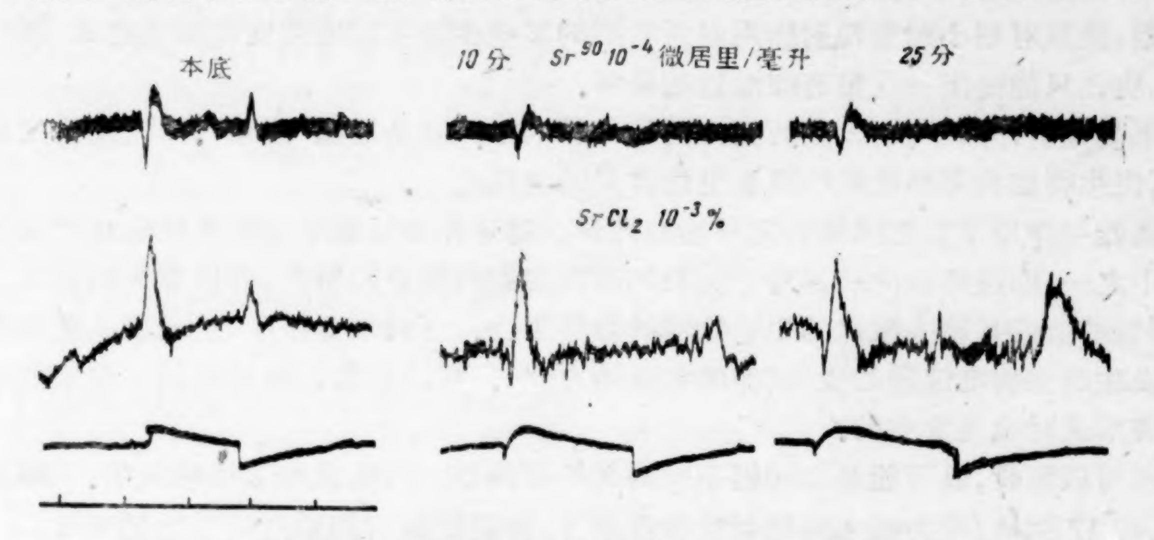



图 4 在 $Sr^{90}$ 作用下眼网膜电位記录的改变（$10^{-4}$ 微居里/毫升）曲綫
自上而下：两眼的网膜电位記录，光刺激标記和 1 秒时間的标記．

必須对实驗观察到的"兴奋"相給以特別注意，兴奋相表現在网膜电位記录波尖端的升高．这网膜反应的特殊性可以与以前提及的，卽由电离輻射（X 光，放射性鏻）直接刺激网膜的一組实验进行比較。看来，在两种情况下，都属于光敏感部分的分子轉入到兴奋状态，并提高了存儲能量但沒有电离現象，无疑地，网膜反应性的这种形式与对它的損伤过程是不同的，并証明了在有机体中有一些組織，它們善于在电离輻射影响下表現直接兴奋的状况。

我們指出，应用眼网膜（作为中枢神經系統取出的外週的一部分）作为研究对象的結果，与这里所引用的資料是相符合的，这些資料指出中枢神經系統对射綫因子的高度敏感性。

从前我們曾經指出，存在着能使机体对輻射的敏感性提高的某些条件．在这方面特別易受損伤的是在发育阶段的器官和器官系統．

都很清楚在組織培养条件下，剂量为一倫琴时，可观察到蝱蟖虫成神經細胞发育过程的抑制．在胚胎发育过程中，出現輻射作用对中枢神經系統敏感性提高的情況[25-26]．但所有这些研究进行都用形态学的方法．

在列别金斯基实驗室工作的也可夫列夫（В. В. Яковлев）应用了在电离輻射后，測定神經系統发育的功能缺陷的方法．作者用 300 多个兔子胚胎来研究发育过程中反射性运动反应的破坏．用 25 到 300 倫剂量的 X 光照射怀孕八昼夜的母兔．照射 200 倫剂量的兔胚胎，在刺激头部皮肤，前后肢，乃至骶部，尾部及胸部沒有运动性反应出現，而在对照組，这些反应經常看到．25 倫剂量照射后，上述的反射性运动反应的破坏表現得更弱一些。

胚胎发生期，在机体內发生放射性鍶积累的动物，它們神經系統的变化特別大，有根据假定，鍶的 β 輻射作用可以对生长在骨腔內的器官有影响，其中特别对中枢神經系統和背根神經

节．胚胎和新生者脑骨管道的結构和大小，特别能加強这影响．下面引用在列别金斯基指导下，邓志誠获得的材料．

雌大白鼠的观察是在第一第二代进行的，給这些雌白鼠腹腔內注射 0.4 微居里/克的放射性鍶(对照动物是同一年龄)．两代年幼大白鼠屍体的放射性等于 0.16--0.6 微居里．

用左后肢运动和感觉时値相互关系的顚倒神經系統的机能活动性的改变，表明生长着的机体对电离輻射的高度敏感性．

根据我們所引用的材料証明，神經系統是参加在小剂量輻射作用下，机体內所发生的反应的．同时可以这样假設：在小剂量影响之下，不只是在机体中对射綫特别敏感的系統里，可以发生局部反应，而且也可以发生有神經系統参加的反射性反应．

最后，应該对在小剂量輻射作用时所看到的某些生物系統发生变化的机制試行解释． 在这方面，現在只能提出一些带有假設性的見解．

在电离輻射作用下，所发生的变化的最一般的形式就是所謂“变更”． 无論这变更的本質是怎样，但生物結构完整性的破坏是它最常見的表現之一．

电离輻射作用下引起的結构完整性的破坏，对于生命活动这些或那些破坏产生不同的后果．其中之一，即通透性的破坏对于为我們所有兴趣的現象的解释，有很重大的意义．不难想象，通透性的改变是膜去极化的生物物理的被作用物．这种假設証明之一，就是在电离輻射作用下所发生的生物电位差的改变(静的电运动力)[27]．可以想象，这种去极化現象就是在神經系統兴奋形成时也是发生的．

現在可以假設，最可能是在神經系統的那些結构里，发生这些去极化現象． 根据某些資料[28-29]，在 17 尔格/平方毫米的輻射能量作用下，神經纖維可以发生功能性的变化．

为了解释小剂量下，变更性变化的发生，比較正确是假設它們最先发生，在神經接头装置之內．根据維金斯基 (Н. Е. Введенский) 的概念[30]，小剂量作用时，反射时間的縮短，可以用在反射弧上各个因素的机能活动性提高来解释，并按現代的观点看来，首先是神經节头装置机能活动性的升高．因此，对于在小剂量作用下，神經系統功能状态改变的原因，其解释都是同一个假設：即在这种情况下，神經接头結构发生破坏．

如認为小剂量作用时，生命活动的基本变化是变更状态，那就，可以提供，在我們所談到的作用条件下，发生这些变化的可能性的另一証明．問題在于，象电离輻射这样一种損伤因素的作用，并不是严格的有一定閾限的；所以，变更在任何自然水平提高的情况下，实际上都可能的，也就是說，在我們采用的小剂量作用时多种范围內都引起变更．有决定性的效应只在于所发生的变更性变化再間生 (репарабильны) 到什么程度，又可說暂坏死 (паранекроза) 的程度有多大(按拿逊諾夫 (Д. Н. Насонов)[31] 的术語)．自然，在那些暂坏死变化程度大的生物系統內(再間生性小的)，小剂量作用的总和会非常明显． 属于这一类系統的应該有遺传信号系統，甚至任何信号系統，其中包括决定組織的生理性再生的信号系統．

关于遺传效应的这种观点是大家公認的．至于有关上述第二种信号系統的破坏，也可举下述試驗証明．

斯特列利佐娃 (В. Н. Стрельцова)[32] 曾指出，給大白鼠一次注射 1500—1800 微居里的 $铯^{137}$ 或 $Rn^{106}$ 和連續 100 天、每天注射 150—160 微居里，其致肿瘤效应是相同的． 在第二种情况下，总剂量比一次剂量只增加了十倍，这說明了作用效应的綜和．卡拉也夫斯基 (Н. А. Краевский)，利特文諾夫 (Н. Н. Литвинов) 和其他人[33]已得到同样的結果．

在这些情况下，根据某些对恶性新生物发生机制的观点，恶性新生物的发生可証明是由于病理性再生的发生，从而导致肿瘤的产生，即由小剂量电离輻射作用的綜合結果，信号系統发

生了破坏.

由于某些生物系統能够綜合电离輻射的作用，自然放射水平的升高是潛伏着的一个危险的根源.

## 参 考 文 献


[1] Н. П. Дубинин: Ионизирующие излучения и наследственность (Тезисы межвуз. совещ. по проблеме «Биохим. и физико-хим. основы биолог. действия радиации»). Изд. МГУ, 1957, стр. 15.
[2] J. B. S. Haldane: Current Sci. 24, 399 (1955).
[3] W. L. Russell. Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Biological effects of radiation, UNO, **11**, 382 (1956).
[4] H. Marcovich: Semaine hôpitaux. Paris. Ann. Rech. Méd. 181 (1956).
[5] M. Helde, T. Wahlberg: *Acta Radiol.* **40**, 435 (1953).
[6] Wakabayashi et al. Цит. по K. Motokawa: Tohoku J. Exptl Med. **66**, № 3, 1957.
[7] Цитировано по B. Rajewsky. Strahlendosis und Strahlenwirkung, 1956.
[8] Н. И. Нуждин, Н. И. Шапиро, О. Н. Петрова, И. А. Нечаев: Сборн. работ по радиобиологии. Изд. АН СССР, М., 1955, стр. 113.
[9] Г. С. Стрелин: *Мед. радиология* **1**, 1,27 (1956).
[10] Ю. Г. Григорьев: Вестн. рентгенол. и радиол. № 5, 3 (1954).
[11] Ю. Г. Григорьев: Вестн. рентгенол. и радиол. № 2, 3 (1956).
[12] А. Б. Цыпин: *Мед. радиология* № 5, 22 (1956).
[13] А. И. Даниленко, Н. Д. Стеценко: Действие ионизирующих излучений на электрическую активность мозга. Физиология нервных процессов. Изд. АН СССР, 1955, стр. 359.
[14] И. К. Зюзин: Клин. медицина № 6, 22 (1955).
[15] И. К. Зюзин: Невропатол. и психиатр. **55**, № 3, 205 (1955).
[16] Е. С. Лондон: Архив биол. наук, вып. 1, 191 (1903).
[17] L. Lipetz: Brit. J. Ophthalm. 39, 577 (1955).
[18] Г. Г. Цемирчоглян, Ц. М. Авакян, М. А. Аллахвердян, Е. А. Худоян, А. А. Лалаян: Совещ. по вопросам эксперим. и клин. электроретинографии. Тезисы докл. Изд. ДАН Арм. ССР, Ереван, 1957, стр. 43.
[19] Г. Г. Цемирчоглян, Г. Т. Адунц, Ц. М. Авакян: Труды Всес. конф. по мед. радиологии. Медгиз, 1957.
[20] Ц. М. Авакян: Биофизика, гл. VII, 1958, III, 2.
[21] K. Motokawa, T. Kohata, M. Komatsu, S. Chichibu, Y. Koga and T. Kasai: Tohoku J. Exptl Med. **66**, № 3, 389 (1957).
[22] А. В. Лебединский: Успехи совр. биол. **26**, № 3, 893 (1948).
[23] G. Wald and P. Brown: J. Gen. *Physiol.* **35**, 5, 797 (1952).
[24] А. В. Лебединский и А. И. Пеймер. Сб. «Проблемы физиол. оптики». Изд. АН СССР, 1955, стр. 8.
[25] L. Russell: *Proc. Soc. Exptl Biol. and Med.* **95**, 1, 174 (1957).
[26] S. P. Hicks, B. Z. Brown, C. J. D'Amato. Amer. J. Pathol. **33**, 3, 459 (1957).
[27] В. А. Мужеев: Влияние излучения радона на функциональные свойства нерва и мышцы. Сб. «Вопросы радиобиологии», Медгиз, Л., 1956, стр. 103.
[28] А. И. Даниленко и Н. Д. Стеценко: Вопр. физиологии № 9, 169 (1954).
[29] А. И. Даниленко и Н. Д. Стеценко: Вопр. физиологии № 10, 163 (1954).
[30] Н. Е. Введенский: Возбуждение, торможение и наркоз (Полн. собр. соч. Изд. ЛГУ, 1953, т. 4, стр. 3).
[31] Д. Н. Насонов, В. Я. Александров: Реакция живого вещества на внешние воздействия. Изд. АН СССР, 1940.
[32] В. Н. Стрельцова и Ю. И. Москалев: *Мед. радиология* № 5, 39 (1957).
[33] Н. А. Краевский, Н. Н. Литвинов: *Мед. радиология* № 5, 33 (1957).

# 給編輯部的信

## 能量为90亿电子伏的質子与核子的碰撞

巴拉欣可夫 (В. С. Барашенков)
王 樹 芬 (Ван Шу-фэнь)
托尔斯托夫 (К. Д. Толстов)

厚度約450微米的 НИКФИ-Р 型照象乳胶片用联合核子研究所同步稳相加速器加速的能量达 $E\approx 90$ 亿电子伏的质子束来照射．在順着原始的质子径跡观察，在标記着星的372个中有32个属于 p—p 碰撞，而264个中有11个属于 p—n 碰撞．总数39个星中属于 p—p 碰撞的三个星滿足弹性碰撞的运动学条件．

在 p—p 碰撞的結果所形成的星中具有偶数根射綫，而沒有反冲核或者 $\beta$ 电子的径跡；具有不超过1个的灰色或者黑色的径跡，并且黑色的径跡仅仅在前半球中被观察到．p—n 星具有奇数根射綫并同样沒有反冲核．

下面列出37个 p—p 非弹性碰撞按射綫数的星分布(在进行几何修正时加上一个双射綫情况)：

| 星　数 | 13 | 17 | 5 | 2 |
|---|---|---|---|---|
| 射綫数 | 2 | 4 | 6 | 8 |

在 p—p 碰撞中带电粒子的平均数 $\bar{n}_p=3.8\pm 0.3$，它同按統計理論 [1] 在異位素状态的假定下对能量为100亿电子伏所計算的值 $\bar{n}_p\approx 3.5$ 是令人满意地相符合．在 p—n 碰撞中带电粒子的平均数 $\bar{n}_n=2.8\pm 0.6$，而按表[2]計算的相应的理論值 $\bar{n}_n=3.2$ (考虑到 p—n 碰撞的小統計，在我們現在的短評中仅限于平均数)．

下面列出p—p碰撞按"快粒子"数目(能量 $E_p\geqslant 5$ 亿电子伏的质子，能量 $E_\pi\geqslant 0.8$ 亿电子伏的 $\pi$ 介子)的分布：

| 星　数 | 9 | 6 | 7 | 8 | 2 | 3 | 1 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 粒子数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

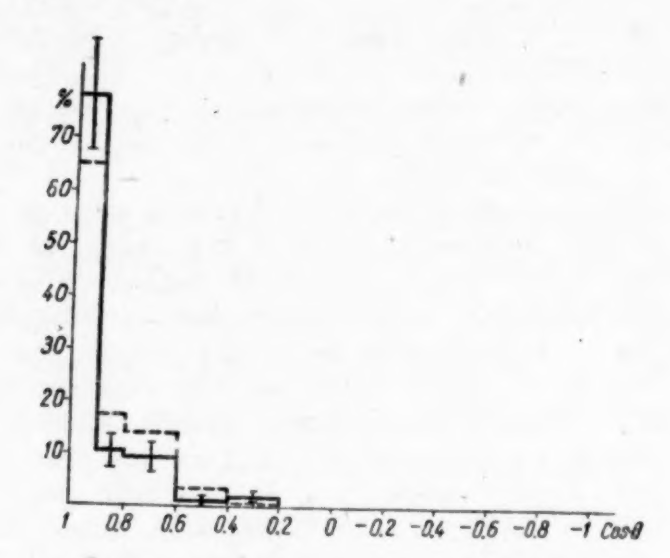
这些粒子的平均数 $\bar{n}_{p-}^{(s)}=3.1\pm 0.3$．对于 p—n 碰撞 $\bar{n}_n^{(s)}=2.5\pm 0.6$．用統計理論的方法計算的相应值为 $\bar{n}_p^{(s)}\cong 3.1$，而 $\bar{n}_n^{(s)}=2.9$．

粒子 $n_p^{(s)}(\theta)$ 在实驗室座标系統中的角分布如图中所示．包含一半粒子的角度是16°．图中虛綫表示用統計理論法計算的 p—p 碰撞中发射出的带电"快"粒子的角分布．在实驗誤差范围內理論結果令人滿意地与实驗相符合．然而在小角度范围內观察到有明显的差別，正如表中所指出的那样．这差別可能是超出統計理論 [2] 描述的形成粒子的机构，例如"圓周碰撞"[3]所引起．对最后的判断还需要大量的統計和較严格的理論分析．

快粒子在实驗室座标系中的角分布

| 角的間隔(度) | 粒子数 | | |
|---|---|---|---|
| | 計算的 | 实驗的 | 实驗值与計算值的比值 |
| 0—3 | 4 | 9 | 2.2 |
| 0—5 | 10 | 19 | 1.9 |
| 0—10 | 28 | 39 | 1.4 |

在 p—p 碰撞中形成离子的平均能量消耗按快粒子的实驗数和計算的能譜来估計．它为原始质子能量的～50%．




p—p 碰撞形成的快带电粒子在实驗室座标系統中的角分布
实綫——实驗材料；　虛綫——理論組份图．

我們感謝服务于联合核子研究所高能实驗室同步稳相加速器的工作組对实驗的安排．我們也感謝布別列夫 (Э. Г. Бубелев)，馬立切夫 (В. М. Мальцев) 和秦金 (Тен-Гын) 在理論計算时的帮助，也感謝別良可夫(В. А. Беляков) 和克里洛沃依 (Л. Ф. Кирилловой) 在分析实驗結果时的帮助．

参 考 文 献

[1] Н. П. Богачев и др: *Атомная энергия* 4, 281 (1958).

[2] V. S. Barashenkov et al: *Nuovo cimento* 7, No. 1, 117 (1958).

[3] Г. Т. Зацепин: Доклад на семинаре Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, март 1958 г.

# $Cu^{63}$, $Cu^{65}$, $Ag^{107}$, $Ag^{109}$ 和 $In^{115}$ 核俘获热中子时所放出的軟 $\gamma$ 射綫譜

斯克良列夫斯基 (В. В. Скляревский)
斯切潘諾夫 (Е. П. Степанов)
奥比尼克夫 (Б. А. Обиняков)

用 NaI(Tl) 晶体閃爍譜仪测量由分离的銅，銀和铟同位素所作的靶在俘获热中子时所产生的軟 $\gamma$ 射綫譜．实驗装置和测量方法已在文献[1]中描述过．在所有研究过的情况中，$\gamma$ 射綫都是由奇-奇核放出的．在下面表中援引了 $\gamma$ 射綫的观察能量和它們的絕对强度．

天然成份的銀和銅的靶子的俘获 $\gamma$ 射綫譜也被测量过．在这些测量中所得到的 $\gamma$ 射綫强度的数值同分离的同位素的靶子的結果很好地相符合．

在图 1 中示出了 $Ag^{107}$ 和 $Ag^{109}$ 核在俘获热中子时所产生的 $\gamma$ 射綫譜．由图看出，能量为 78 千电子伏的譜綫显現在譜 B 中比在譜 A 中要好得多．供测定光子峯(фотопик) 面积的带有吸收体的那些测量对所有譜綫都进行过．



图 1. $Ag^{107}$ 和 $Ag^{109}$ 核在俘获热中子时产生的 $\gamma$ 射綫譜

在右上角表示在大的放大下所取下的 $Ag^{109}$ 的部分能譜．测量曲綫 *Б* 时在靶与晶体之間放置一个厚为 0.72 毫米的含錫过滤器．曲綫 *B* 表示 *A* 和 *Б* 能譜差．

$Ag^{109}$ 譜中最低能量的 $\gamma$ 譜綫同在 $Ag^{107}$ 俘获中子时所产生的 $\gamma$ 射綫的譜中被观察到的三条譜綫的每条譜綫相对应，并且最硬的譜綫的能量等于較軟的两条譜綫能量的总和．因为这些譜綫的强度很大，那么就很明显，这些譜綫对应于 $Ag^{108}$ 和 $Ag^{110}$ 核低能級間的跃迁．这些核的可能的能級图示于图 2．

很可能，$Ag^{108}$ 和 $Ag^{110}$ 核的低能級系統是一样的．$Ag^{108}$ 和 $Ag^{110}$ 能量相同而 $\gamma$ 射綫强度不同可能是由于从較高能級到相应能級的跃迁强度的不同所致．在我們的测量中已知的能量为 116 千电子伏 $Ag^{110}$ 的同質異能能級沒有能出現，因为半衰期太大了(270天)．

与 $Ag^{108}$ 和 $Ag^{110}$ 不同，在 $Cu^{64}$ 和 $Cu^{66}$ 核放出的 $\gamma$ 射綫譜中譜綫能量相重合的現象沒被观察到(参看表)．

在 $In^{116}$ 的 $\gamma$ 射綫譜中象在 $Ag^{108}$ 和 $Ag^{110}$ 的 $\gamma$ 射綫譜中一样，具有三条强的譜綫，其中两条譜綫能量的总和等于第三条譜綫的能量．

被我們观察到的某些譜綫早就被不同的作者在未被分离的同位素的测量中发現过．文献[2]中在銀俘获热中子的研究中发現了能量为 187 千电子伏的 $\gamma$ 綫．在銅的 $\gamma$ 射綫譜中观察到能量为 150 千电子伏[2]，202± 10 和 280 ± 10 千电子伏[3]的譜綫．根据文献[4]的材料，能量为 280 千电子伏的譜綫对应于 $Cu^{64}$ 从第一激发能級到基态的跃迁．我們对銦的材料和文献[5]中的結果相一致，其中发現了在銦俘获热中子时产生的 $\gamma$ 射綫譜中有能量为 70，98，188 和 280 千电子伏的 $\gamma$ 綫．在較早

的文献[2]中已經找到了具有能量为160和256千电子伏的$\gamma$射綫.

看来,所得到的結果証明了相差两个中子的奇-奇核 $Ag^{108}$ 和 $Ag^{110}$ 的低能級系統是相重合的. 然而,确定的結論只有在得到这些能級的自旋和宇称的材料后才能作出來.

$Cu^{63}$, $Cu^{65}$, $Ag^{107}$, $Ag^{109}$, $In^{115}$ 核在俘获热中子时发生的$\gamma$射綫的能量和絕对強度

| 放出$\gamma$射綫的同位素 | $\gamma$射綫的能量 千电子伏 | $\gamma$ 射 綫 強 度 (每俘获1个中子的量子数) |
|---|---|---|
| $Cu^{64}$ | 155±5<br>205±10<br>276±10 | 0.23±0.04<br>0.05±0.02<br>0.25±0.05 |
| $Cu^{66}$ | 92±5<br>180±10 | 0.13±0.03<br>0.34±0.10 |
| $Ag^{108}$ | 82±2<br>117±2<br>199±3 | 0.20±0.04<br>0.11±0.02<br>0.34±0.06 |
| $Ag^{110}$ | 78±3<br>116±2<br>196±3<br>232±10 | 0.09±0.03<br>0.21±0.04<br>0.32±0.06<br>0.07±0.02 |
| $In^{116}$ | 70±5<br>102±3<br>175±5<br>285±10 | 0.05±0.02<br>0.18±0.04<br>0.31±0.06<br>0.42±0.08 |

我們感謝哥罗謝夫(Л. В. Грошев)和哥列朱欣(Д. П. Гречухин)对于工作的討論并感謝卓罗他列夫(В. С. Золотарев)向我提供了足够量的被分离的同位素.

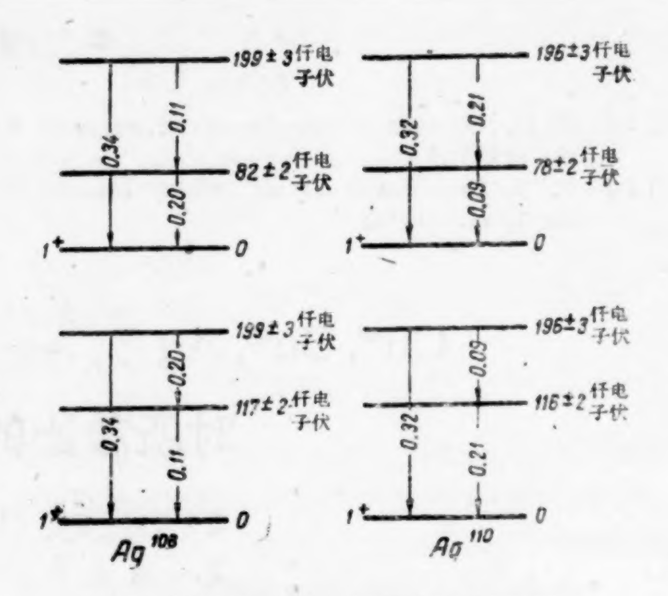



图2. $Ag^{108}$ 和 $Ag^{110}$ 核假設的低能級图 箭头上的数字指示跃迁強度.

## 参 考 文 献

[1] В. В. Скляревский, Е. П. Степанов, Б. А. Обиняков: *Атомная энергия* **4**, вып. 1, 22 (1958).

[2] B. Hammermesh, V. Hummel: *Phys. Rev.* **88**, 916 (1952).

[3] M. Reier, M. H. Shamos: *Phys. Rev.* **100**, 1302 (1955).

[4] G. Trumpy: Circular Polorisation of Gamma-Rays Resulting from the Capture of Polarised Neutrons. Доклад на Международной конференции по взаимодействию нейтронов с ядрами, Нью-Йорк, 1957.

[5] H. L. Schultz, C. K. Bockelman, I. Draper, C. A. Fenstermacher, L. Rosler: Gamma-Rays Following Resonant Neutron Capture. Доклад на Международной конференции по взаимодействию нейтронов с ядрами, Нью-Йорк,1957.

# 15兆电子伏的中子所引起的 $U^{238}$ $(n,2n)$ $U^{237}$ 反应的截面

安特羅波夫 (Г. П. Антропов)　捷 辛 (Ю. А. Зысин)
可夫里日內赫 (А.А.Коврижных)　尔勃夫 (А. А. Лбов)

由于在不久以前发表了能量为6—10兆电子伏[1]和14兆电子伏[2]的中子所引起的 $U^{238}$ $(n,2n)$ $U^{237}$ 反应截面的資料引起了我們发表在我們实驗室于1952年所做出的能量为15兆电子伏的中子所引起的 $U^{238}$ $(n,2n)U^{237}$ 反应截面测量結果的兴趣.

硝酸氧鈾样品放在 $T(d,n)He^4$ 反应的能量为15兆电子伏的中子通量中,其方向是与能量为150千电子伏的入射氘核束的方向一致的. 中子通量是按所形成的 $He^4$ 核的数目来决定. 半衰期为6.7天的 $U^{237}$ 絕对放射性的测量在本工作中是借助于鈡罩型計数管用一定立体角的方法进行的. 經受6—8小时照射的鈾样品在化学上預先清除了裂变碎片和鈾的衰变产物.

这种测量方法要求一定几何因素和一系列和$\beta$粒子的吸收和散射相关的修正.

$\sigma_{n,2n}$ 最后的数值为(1.5±0.2)巴恩. 在 $U^{237}$ 的

$\beta$ 譜中存在的內变換电子的修正，当时还不知道，而沒有被引入．稍迟，詳細地研究 $U^{237}$ $\beta$ 譜的文献[3]知道了估計內变換电子部份是非常的大（~40%）．引入了 $\sigma_{n,2n}$ 对內变換电子的修正以后得到的数值是1巴恩，它明显的不同于在文献[2]中所引用的对能量为14兆电子伏中子的 $\sigma_{n,2n}$ 的值，該 $\sigma_{n,2n}$ 等于（0.4±0.3）巴恩．因此于1957年我們又重新測量了这个数值．在这些測量中利用了$4\pi$-計数管，此$4\pi$-計数管消除了在前一方法中所考虑的引入修正的必要性，而首先对內变換电子进行修正．$\sigma_{n,2n}$的大小按 $U^{237}$ 的放射性以及按 $U^{238}$ 的裂变碎片：$Mo^{99}$, $Ba^{140}$, $Ce^{141}$ 的放射性来确定（除通量的絕对測量）．并且假定在能量为14兆电子伏的中子的作用下，$U^{238}$ 的截面和裂变碎片的产額是已知的．$UX_1$,$UX_2$ 的 $\beta$ 放射性的修正是不大的，并且用可控制的实驗来确定．在測量碎片的 $\beta$ 放射性时引入了对 $Tc^{99}$, $La^{140}$, $Ce^{144}$, $Pr^{144}$ 的修正．

根据这些材料 $\sigma_{n,2n}$ 的計算值等于（0.90±0.15）巴恩．考虑对选择实驗值的誤差和 $U^{238}$ 裂变截面与碎片产額数值的系統誤差是一样的．这个数值和我們以前所得到的对內变換电子的修正值 $\sim 1\cdot 10^{-24}$ 厘米$^2$ 是相符合的，但和文献[2]所发表的值（$0.4\pm0.3$）$\cdot 10^{-24}$ 厘米$^2$ 有极重要的不同．

对于能量为15兆电子伏的中子 $U^{238}(n,2n)U^{237}$ 的反应截面可以和对小能量的中子所得到的截面[1]相比較．根据这个工作 $\sigma_{n,2n}$ 剧烈地由6兆电子伏时的0值增加到10兆电子伏时的（$1.4\pm0.14$）$\cdot 10^{-24}$ 厘米$^2$．后一数值近于核統計理論的期望数值，根据这个理論 $\sigma_{n,2n}$ 在中子能量增加到14—15兆电子伏时应当保持不变并且等于 $\sim 1.5\cdot 10^{-24}$ 厘米$^2$．然而对于中子能量大約为12兆电子伏时却使$(n,3n)$反应成为可能．引入了附加的竞爭过程在原則上应当导致$(n,2n)$反应截面減低$(n,3n)$反应截面的大小．

現在沒有 $U^{238}(n,3n)U^{236}$ 反应截面的实驗材料．根据1957年歇里琴可夫（Л.И.Сельченков）所做的最粗略的估計，此值等于 $\sim 0.5\cdot 10^{-24}$ 厘米$^2$．

这样一来，对于能量为15兆电子伏的中子 $U^{238}(n,2n)U^{237}$ 反应截面的数值是与文献[1]中的材料与統計理論相符合的．

我們指出，在最近时期发表的短評[4]已报导了关于裂变譜中子对 $U^{238}$ 的 $(n,2n)$ 反应截面的測量数值．所得到的截面大小等于$(17\pm3)\cdot 10^{-27}$厘米$^2$，此值与在文献[1]中所引用的用 $\sigma_{n,2n}$ 与裂变中子譜能量的关系式的积分所能得到的值相符合．

最后我們向馬耳特諾夫（Н.П.Мартынов），契莫菲也娃（Т.П.Тимофеева）和素娃諾娃（Н.В.Шуванова）等帮助我們完成化学試驗表示感謝．

### 参考文献

[1] D. D. Knight, R. K. Smitt, R. A. Nobls, B. Warren: *Bull. Amer. Phys. Soc., ser.* II, v. 2, 198 (1957).

[2] Физика ядерных реакторов. Изд. ИЛ, 1956, стр. 101.

[3] С. А. Баранов, К. Н. Шлягин: ЖЭТФ 30, 235 (1956).

[4] Л. Е. Шерман: *Атомная энергия* 4, 87 (1958).

# 論原子能电站熱力循环的最佳参数問題

達茨可夫斯基（В. М. Дацковский）

本文补充諾維可夫*（И. И. Новиков）所作的工作对反应堆內余弦的释热分布，释热元件的最高容許溫度以及在动力迴路中实現多循环（具有不同的平均导热溫度）的可能性方面作了計算．

考慮到沿反应堆高度方向释热按余弦分布，則最大热流量 $q_{max}$ 和載热剂的重量耗量 $G$ 可表成如下形式：

$$q_{max}=a\sqrt{(T_{max}-T_{cp})^2-\left(\frac{\Delta T}{2\sin\frac{\pi H}{2H'}}\right)^2};$$

$$G=a\sqrt{\left(\frac{T_{max}-T_{cp}}{\Delta T}\right)^2-b}\ , \quad (1)$$

* 参閱苏联"原子能"杂誌 III, 11, 409 (1957).

其中

$$a=\frac{F\cdot\alpha\frac{2H'}{\pi H}\cdot\sin\frac{\pi H}{2H'}}{c_p'};\ b=\frac{1}{\left(2\sin\frac{\pi H}{2H'}\right)^2};$$

$$T_{cp}=\frac{T'+T''}{2};\quad \Delta T=T''-T'.$$

$T'$和$T''$——反应堆入口处和出口处載热剂的溫度；

$\alpha$——放热系数，取作与載热剂溫度无关；

$T_{max}$——释热元件表面最高容許溫度；

$H$——释热元件活性部分的高度；

$H'$——释热元件的外推高度，在高度两端 $q=0$；

$F$——释热元件的总面积；

$c_p'$——溫度 $T_{cp}$ 时載热剂的比热．

采用具有 $ae$ 段（图 1）等熵压縮还原的朗肯（Ренкин）循环作为理想的热力循环．朗肯循环的效率可按具有与朗肯循环同样传热过程的一定条件下的噶尔諾（Карно）循环来計算．图 1 也表示了載热剂的等压綫 $fg$．

在載热剂最小溫度和一定条件下噶尔諾循环的导热溫度之間采用正的溫差 $\varepsilon$，它与載热剂和实际装置中动力迴路內的工作物質之間的最小溫差 $\delta$ 相差很小．

$\delta$ 值可按下式計算：

$$\delta=T''-\frac{c_p'\cdot\Delta T\cdot(i_c-i_b)}{c_p''(i_c-i_e)}-T_b,\qquad(2)$$

其中

$c_p''$——溫度 $\frac{T_b+\delta+T''}{2}$ 时載热剂的比热．在以后的計算中由以下关系式确定与朗肯循环的参数有关的最佳溫度 $T_K$：

$$T_K=\frac{i_c-i_e}{S_d-S_a}.\qquad(3)$$

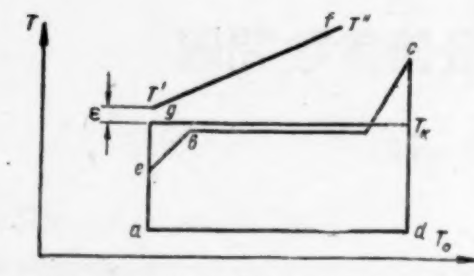


图 1. 朗肯热力循环和一定条件下的噶尔諾循环．

已知 $T_K$，可以选择蒸汽动力循环的参数．我們研究了在动力迴路中采用多循环的問題．图 2 表示了三个具有最高溫度为 $T_{n_1}$，$T_{n_2}$，$T_{n_3}$ 及一个具有最高溫度 $T_K$ 的噶尔諾循环．由图 1 及图 2 中可以看出，

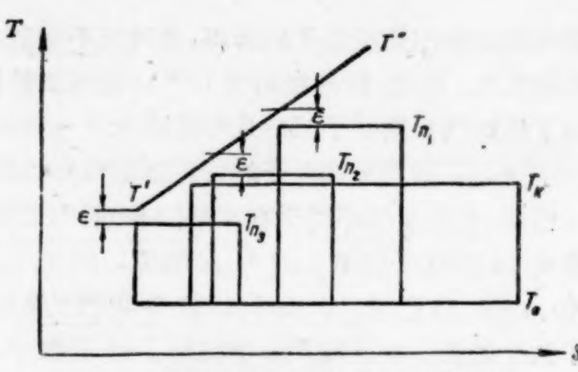


图 2. 从載热剂循序导热的三个噶尔諾热力循环．

与单循环比較采用多循环能提高对动力迴路中的工作物質导热的平均溫度．在动力迴路中采用具有同样 $\varepsilon$ 值的 $n$ 个循环时发动机的有效总功率可按下式計算：

$$N=G\Big[c_{p_1}(T''-\varepsilon-T_{n_1})\left(1-\frac{T_0}{T_{n_1}}\right)+$$
$$+c_{p_2}(T_{n_1}-T_{n_2})\left(1-\frac{T_0}{T_{n_2}}\right)+\cdots+$$
$$+c_{p_{m-1}}(T_{n_{m-2}}-T_{n_{m-1}})\left(1-\frac{T_0}{T_{n_{m-1}}}\right)+$$
$$+c_{p_m}(T_{n_{m-1}}-T_{n_m})\left(1-\frac{T_0}{T_{n_m}}\right)+$$
$$+c_{p_{m+1}}(T_{n_m}-T_{n_{m+1}})\left(1-\frac{T_0}{T_{n_{m+1}}}\right)+\cdots+$$
$$+c_{p_{n-1}}(T_{n_{n-2}}-T_{n_{n-1}})\left(1-\frac{T_0}{T_{n_{n-1}}}\right)+$$
$$+c_{p_n}(T_{n_{n-1}}-T'+\varepsilon)\left(1-\frac{T_0}{T'-\varepsilon}\right)\Big]\eta_{0i}\cdot\eta_{мех}-N_c,\qquad(4)$$

其中 $T_0$——蒸汽动力循环中热量传到周围介質的溫度；

$\eta_{0i}$，$\eta_{мех}$——发动机的相对的和机械效率，取作与 $T_K$ 和循环数无关；

$c_{p_m}$——在溫度 $T_{n_{m-1}}$，$T_{n_m}$ 范围內載热剂的平均比热；

$N_c$——本身所需的功率，取作与溫度 $T'$，$T''$和 $T_{n_m}$ 无关．并認为載热剂的比热与溫度无关，在 $m=1-(n-1)$时，解 $\frac{\partial N}{\partial T_{n_m}}=0$ 的方程系，得到結果为：$(T''-\varepsilon)$，最佳溫度 $T_{n_m}$ 和$(T'-\varepsilon)$組成了几何級数，級数的一般項按下式計算：

$$T_{n_m}=[(T''-\varepsilon)^{n-m}(T'-\varepsilon)^m]^{1/n}.\qquad(5)$$

方程(4)中方括号內的表达式可变换成如下形式：

$$\frac{N+N_c}{G\cdot\eta_{0i}\cdot\eta_{\text{мех}}}=c_p'\cdot\Delta T\left[1-\frac{T_0}{T_{cp}}\cdot\frac{T_{cp}}{\Delta T}\left(\frac{\Delta T_1}{T_{n_1}}+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{\Delta T_2}{T_{n_2}}+\cdots+\frac{\Delta T_m}{T_{n_m}}+\cdots+\frac{\Delta T_n}{T'-\varepsilon}\right)\right];$$

$$\Delta T_1=T''-\varepsilon-T_{n_1};\ \Delta T_m=T_{n_{m-1}}-T_{n_m};$$

$$\Delta T_n=T_{n_{n-1}}-T'+\varepsilon.$$

引入

$$\psi_n=\frac{T_{cp}}{\Delta T}\left(\frac{\Delta T_1}{T_{n_1}}+\frac{\Delta T_2}{T_{n_2}}+\cdots+\right.$$

$$\left.+\frac{\Delta T_m}{T_{n_m}}+\cdots+\frac{\Delta T_n}{T'-\varepsilon}\right). \quad (6)$$

将公式 (1) 和 (6) 中的 $G$ 和 $\psi_n$ 的数值代入方程 (4)中,得到:

$$N=B\sqrt{(T_{\max}-T_{cp})^2-b\cdot\Delta T^2}\left(1-\right.$$

$$\left.-\frac{T_0\psi_n}{T_{cp}}\right)-N_c, \quad (7)$$

其中 $B=a\cdot c_p'\cdot\eta_{0i}\cdot\eta_{\text{мех}}$.

表 1 中列入了在最佳的 $T_{n_m}$ 和 $\varepsilon=20^\circ$ K 时 $\psi_n$ 之值.

表 1

| $\Delta T$, °K | 50 | | 250 | |
|---|---|---|---|---|
| $T^0_{cp}$ \ $n$ | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 475 | 1.103 | 1.060 | — | — |
| 575 | 1.083 | 1.048 | 1.335 | 1.118 |
| 675 | 1.070 | 1.040 | 1.272 | 1.095 |

从公式 (7) 和表 1 归納出:

a) 求 $T_K$ 的最佳值(单循环或 $n$ 个循环时)化为求 $T_{cp}$ 和 $\Delta T$ 的最佳值, $T_{cp}$ 的最佳值可能存在,而 $\Delta T$ 的最佳值理論上就不存在,在一定的释热元件总冷却表面时 $\Delta T$* 愈小发动机的功率愈大;

б) 采用多循环代替单循环其效果随 $\Delta T$ 增加而提高;

в) $\Delta T=$ 常数时 $\psi_n$ 值与 $T_{cp}$ 关系不大,在一次近似中这关系可忽略.

給定 $\Delta T$, 近似地取 $\psi_n$ 与 $T_{cp}$ 无关,并解方程 $\frac{\partial N}{\partial T_{cp}}=0$, 得到下列計算 $T_{cp}$ 最佳值的方程:

$$T^3_{cp}-T_{\max}\cdot T^2_{cp}-T_{\max}\cdot T_0\cdot\psi_n\cdot T_{cp}+$$

$$+T_0\cdot\psi_n\cdot(T^2_{\max}-b\cdot\Delta T^2)=0. \quad (8)$$

一級近似中得到 $T_{cp}$ 后确定了 $\psi_n$ 就可二級近似地計算 $T_{cp}$. 有了 $T_{cp}$ 和 $\Delta T$ 可以計算 $T''$ 和 $T'$,所有 $T_{n_m}$ 值,并据此选择蒸汽动力循环的参数,最后核驗 $\delta$ 值.

下面以計算实例闡明以上所述.

原始数据: $T_{\max}=673^\circ$ K; $T_0=310^\circ$ K; $b=0.4$; $n=2$; $\eta_{0i}\cdot\eta_{\text{мех}}=0.83$; $\varepsilon=20^\circ$ K; $\Delta T=100^\circ$ K; 載热剂 $CO_2$. 为簡化計算取 $N_c=0$.

得到 $T_{cp}$, $T_{n_1}$ 的最佳值,并选择蒸汽动力循环参数.

从表 1 中按列平均按行內插求得: $\psi_n=1.115$; 由方程 (8) 得到: $T_{cp}=482$°K; 由此 $T''=532$°K; $T'=432$°K; $T_{n_2}=412$°K; 由公式 (5): $T_{n_1\text{опт}}=459$°K; 由公式 (1): $G=1.8a$ 公斤/时;由公式(4): $N_{\max}=10.53a$ 大卡/时. 为了检查起見用公式 (4) 計算 $N$,得到列于表 2 中的数据.

表 2

| $T_{cp}$, °K | 470 | 482 | 490 |
|---|---|---|---|
| $G$, 公斤/时 | $1.93a$ | $1.8a$ | $1.72a$ |
| $N$, 大卡/时 | $10.03a$ | $10.53a$ | $10.13a$ |
| $N$, % | 95.3 | 100 | 96.2 |

在 $\Delta T=200$°K 时,按同样原始数据計算得到以下結果: $T_{cp}=480$°K; $T''=580$°K; $T'=380$°K; $T_{n_1\text{опт}}=448$°K; $G=0.727a$ 公斤/时; $N_{\max}=6.65a$ 大卡/时. 这样,在同样释热元件表面时 $\Delta T$ 从 200°K 減至 100°K 电站功率可增加約 60%. 这时 $N_c$ 增加至 $\sim 0.6\ N$ 的可能性不大.

表 3

| 点数 | (图 1) | a | e | b | c | d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 第一循环 | $p$, 大气压 | 0.064 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 0.064 |
| | $t$, °C | 37 | 150 | 184.4 | 250 | 37 |
| | $i$, 大卡/公斤 | 133.8 | 151 | 187 | 701 | 507 |
| | $s$,大卡/公斤·°C | 0.4393 | 0.4393 | — | — | 1.6400 |
| 第二循环 | $p$, 大气压 | 0.064 | 0.064 | 4.9 | 4.9 | 0.064 |
| | $t$, °C | 37 | 37 | 150 | 150 | 37 |
| | $i$, 大卡/公斤 | 37 | 37 | 151.4 | 656 | 504.6 |
| | $s$,大卡/公斤·°C | 0.1271 | 0.1271 | — | — | 1.6320 |

对 $\Delta T=100$°K 选择蒸汽动力循环参数. 例

* $N_c\cong$ 常数时这結論是正确的, 当 $\Delta T$ 显著地減少时 $G$ 和 $N_c$ 增加, $N$ 將降低.

如，表3内列出的参数的循环适合于平均导热温度 $T_{n_1}=459°$ K 和 $T_{n_2}=412°$ K.

点 $d$ 的蒸汽湿度在容許值时为达到 $T_{n_1}=459°$K 在第一循环中曾采用对供水的再生加热（大約到 150°C）.

近似地取 $c_p' \cong c_p''$，按公式(2)得到 $\delta_1 = 25.1°$K；$\delta_2 = 9°$ K.

## 結　論

1. 对一定的释热元件表面为得到原子能电站最大功率存在着反应堆內載热剂最佳的算术平均温度 $T_{cp}$.

2. 反应堆內載热剂的全部温度昇高 $\Delta T$ 越小电站透平的功率(总量)越大. 当 $\Delta T$ 低于某一极限值时，透平功率的增加量(总量)就小于輸送載热剂的泵功率的增加量，經計算表明，很多情况下 $\Delta T$ 的极限值小于 100°C.

3. 上述确定 $T_{cp}$ 最佳值的方法其誤差在 $\Delta T=$ 100°C 时小于 10°C.

4. 在动力迴路中采用連續地从載热剂导热的多循环时最佳的平均温度，对該循环导热的絕对温度和載热剂极限絕对温度(除去温差)組成几何級数.

5. 在原子能发电站上为提高导热的平均温度采用再生加热要比一般热电站具有某些其他特点，这里在一定范围內再生加热的使用經济上往往是合理的. 原子能电站的蒸汽动力循环中具有最佳的导热平均温度时采用再生加热仅限于再生加热可以降低膨胀終了的蒸汽湿度或满足对循环提出的其他要求的情况下.

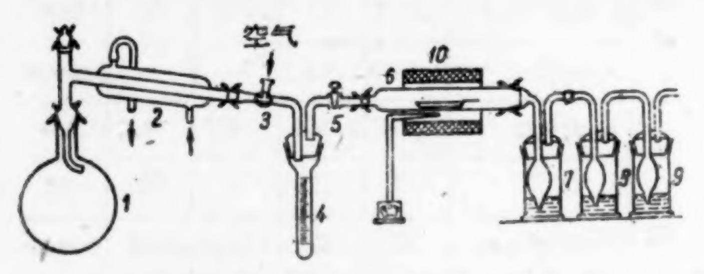
（哲　.譯）

# 关于放射性輻射对同位素交换速度的影响問題

斯必岑(Викт. И. Спицын)
米哈伊林卡(И. Е. Михайленко)

我們研究了 $S^{35}$ 的 $\beta$ 射綫对高溫情况下 $K_2SO_4$—$SO_3$ 体系中硫的同位素交换数值的影响. $K_2SO_4$ 中含有不同量的放射性同位素 $S^{35}$.

实驗在玻璃的設备中进行，設备装置見附图. 在燒瓶1中裝入60%化学純的发煙硫酸. 在60—70°C蒸餾 $SO_3$. 关閉二通活塞5，$SO_3$ 通过冷凝管2和三通活塞3进入每格0.05毫升的量筒4. 测得的 $SO_3$ 經过活塞5由干燥空气带入石英管反应区6. 通过石英管后，在盛有浓 $H_2SO_4$ 和 0.1$N$ NaOH 的二口瓶(7.8.9)中能覚察到 $SO_3$. 在石英的燃燒皿中放有一定量的标記制剂. 每次实驗前后，用由三通活塞3支管送入的干燥空气清洗設备.




在 $K_2SO_4$—$SO_3$ 体系中研究同位素交换的仪器的装置图

1. 圓底燒瓶　2. 冷凝管　3. 三通活塞
4. 有刻度的試管　5. 二通活塞　6. 石英試管
7. 8. 9. 二口瓶　10. 反应炉.

空气先由浓 $H_2SO_4$ 和 $P_2O_5$ 干燥过. 每次实驗取 0.35—0.4 克 $K_2SO_4$；0.3 毫升 $SO_3$（約 0.6 克）. 干燥空气流速达 37 升/小时. $SO_3$ 与被研究制剂的接触时間为 10 分鈡. 硫酸盐在加热炉中放置 20 分鈡. 实驗在 840°C 下进行. 用鉑-鉑銠热电偶测定炉 10 溫度. 高溫計讀数的准确度为 ±5°C. 实驗过程中，溫度在这区間內保持不变. 在用 $S^{35}$ 标記的 $K_2SO_4$ 溶液中加入少量放射性的 $Na_2SO_4$. 然后将溶液蒸发至干，在 800—850°C 灼热殘渣.

在实驗中应用放射性强度約差 600 倍的二种样品：

| $K_2SO_4$ 样品 | 加入的稳定的 $Na_2SO_4$ 混合物% | 测得的比放射性 脈冲数/分克 | 絕对放射性 毫居里/克 |
|---|---|---|---|
| I | 0.1 | $9.37 \cdot 10^5$ | $2.6 \cdot 10^{-2}$ |
| II | 3 | $5.85 \cdot 10^8$ | 16.2 |

按大小将研碎的样品进行篩濾能得到相同的 $K_2SO_4$ 的比表面. 顆粒大小由 0.17 到 0.10 毫米.

实驗結束后，在有刻度的燒瓶中溶解放射性的硫酸盐. 用 $\beta$ 計数管测量一定数量溶液的放射性.

应該指出，将实驗后所得的 $K_2SO_4$ (II) 溶液稀释 1000 倍. 在这情况下，二种溶液得到同一数量級

表1 在 840°C 研究弱放射性的 $K_2SO_4$ 与 $SO_3$ 的同位素交换 ($K_2SO_4$(I) 的比放射性为 $2.6 \cdot 10^{-2}$ 毫居里/克，通过 $K_2SO_4$ 的 $SO_3$ 为 0.5762 克)

| $K_2SO_4$ 重量 克 | $K_2SO_4$ 中 $SO_3$ 的含量，克 | $K_2SO_4$ 的原始放射性 脉冲/分 | 实验后 $K_2SO_4$ 放射性 | | 交换程度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 脉冲/分 | 占原始放射性的百分 % | % | 平均 |
| 0.3829 | 0.1759 | 381600 | 358750 | 94.0 | 7.8 | |
| 0.4034 | 0.1853 | 462500 | 416000 | 90.0 | 12.0 | |
| 0.3696 | 0.1697 | 368300 | 329750 | 89.6 | 13.5 | 11.5 |
| 0.3745 | 0.1720 | 373180 | 345150 | 92.5 | 9.8 | |
| 0.3722 | 0.1710 | 370900 | 341000 | 92.0 | 10.4 | |
| 0.3892 | 0.1789 | 387800 | 342250 | 88.3 | 15.4 | |

表2 在 840°C 研究强放射性的 $K_2SO_4$ 与 $SO_3$ 的同位素交换 ($K_2SO_4$ (II) 的比放射性为 16.2 毫居里/克，通过 $K_2SO_4$ 的 $SO_3$ 为 0.5762 克)

| $K_2SO_4$ 重量 克 | $K_2SO_4$ 中 $SO_3$ 的含量，克 | $K_2SO_4$ 的原始放射性 脉冲/分 | 实验后 $K_2SO_4$ 放射性 | | 交换程度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 脉冲/分 | 占原始放射性的百分 % | % | 平均 |
| 0.3554 | 0.1632 | 832600 | 590000 | 69.4 | 39.2 | |
| 0.3269 | 0.1502 | 765800 | 571000 | 74.6 | 32.1 | |
| 0.3563 | 0.1637 | 834700 | 606000 | 72.4 | 34.4 | 36.6 |
| 0.4034 | 0.1853 | 945000 | 663000 | 70.1 | 39.5 | |

附註：在实驗前后 $K_2SO_4$ 眞正的放射性比表中指出的大 250 倍.

的放射性强度. 实驗結果列在表 1 和表 2 中.

交换程度按公式

$$W = (A_0 - A_1)\frac{1}{B}$$

計算. 此处：$W$——交换程度，以%表示，$A_0$——原始样品的放射性作为 100%，$A_1$——反应产物的放射性，以占原始样品放射性的百分率(%)表示，$B = \frac{N_1}{N_1+N_2}$ ($N_1$——$SO_3$中所研究元素(硫)的原子数目，$N_2$——在标記样品中硫的原子数目).

从所得数据可看到，在样品 (II) 中剩下的放射性更小，因此，同位素交换速度增高. 在同一实驗条件下，样品 (II) 比起样品 (I) 来同位素交换程度增大 3 倍.

在实驗过程中控制$K_2SO_4$重量的改变在±0.1%范围內. 在这条件下在空气流中煅烧放射性 $K_2SO_4$ 样品的結果指出，放射性并未改变：

| $K_2SO_4$ 原始的放射性 脉冲/分 | 在空气流中煅烧过后的放射性 脉冲/分 |
|---|---|
| $1440 \cdot 10^5$ | $1439 \cdot 10^5$ |
| $1186 \cdot 10^5$ | $1186 \cdot 10^5$ |

因此，这里并不存在簡单的由于輻射引起的 $K_2SO_4$ 的化学分解，而这种分解应伴随着 $SO_2$ 的逸出. 关于由 $S^{35}$ 放出的$\beta$粒子在 $K_2SO_4$ 晶体中引起 $SO_4^=$ 离子的激发和附加的电离的假定是更可能的，$SO_4^=$ 离子在轉入激发态后更易参加与 $SO_3$ 的同位素交换. 也可能，$\beta$粒子在由固体轉入气相后引起 $SO_3$ 分子的电离和部分的分解，而在这情况下生成的产物則很易参加同 $K_2SO_4$ 的同位素交换.

应該附带指出，我們的强放射性 $K_2SO_4$(II)样品在制备以后經过五天变成紫色. 在离子性的晶体中类似的現象在鐳的样品“1”及用中子照射过的氟化鋰中“2”亦曾观察到.

上面指出的强放射性 $K_2SO_4$ 样品在加热情况下完全褪色. 这就証实了上述关于电子对所研究体系中同位素交换速度影响的机构的假定.

## 参 考 文 献


[1] М. Кюри: Радиоактивность, Гостехиздат, 1947, стр. 309.

[2] Химическое действие излучений большой энергии. Сборник переводных статей. Изд. ИЛ, 1949, стр. 67.

# 科技新聞

## 上海苏联和平利用原子能科学技术展覽会

苏联和平利用原子能科学技术展覽会于1958年12月17日在上海开幕．它又一次带来了苏联党和政府对我国人民的无私的帮助，无疑它将有力地推动我国和平利用原子能科学技术的发展．这显示了中苏两国兄弟般的合作．

展覽会內容是異常丰富的，它反映了苏联在"原子能科学"領域上的許多新的重要成就．展覽会共分九个部分：序館、原子能动力工程、同位素在科学技术上的应用、同位素生产、防护技术、鈾矿和鈾矿普查、热核研究、同位素在农业生物上的应用、同位素在医学上的应用．現就前面七部分分别介紹如后．*

### 一、序館

这部分以大幅的照片及图表，介紹了苏联科学家全面地参加和平利用原子能的各种科学技术的国际合作运动的状况．几年来，有几百位的苏联专家参加了在各国召开的专門会議，并提出了科学报告，苏联为中国、捷克、罗馬尼亚、波兰和德意志民主共和国提供了实驗性原子反应堆及迴旋加速器．并将为南斯拉夫及阿拉伯联合共和国提供实驗性反应堆．在最近一个时期就有六百多位外国专家到苏联各研究机构实习或专业学习．近年来，苏联先后在十九个国家举行了和平利用原子能展覽会，观众共約四百五十万人．

苏联政府，无偿地把两部世界上最大的迴旋加速器送給了在莫斯科的杜布納联合原子核研究所，序館中陈列了其中之一，680兆电子伏的同步迴旋加速器模型．序館中还展出了一架晒干乳胶联合机，它每次可以晒干40公斤(图1)．

这部分展覽台上，陈列了苏联在輻射电子学仪器的許多新产品(見表1)．

表 1

| 名称 | 性能用途 |
|---|---|
| Б-2 型輻射計 | 記录脈冲幅度：0.4—100伏的負脈冲，2—100伏的正脈冲，分辨本領小于50微秒． |
| ПК-10 Б 型定标器 | 用于在示踪原子工作时测定 $\beta$ 和 $\gamma$ 射綫強度．进位比：100；1000；10000，允許时間：$2\cdot10^{-4}$ 秒． |
| 寬頻放大器 | 用于放大脈冲和测量脈冲的积分譜，最大放大系数30000，甄别閾从2—100伏． |
| ЯБОНЯ 型符合綫路 | 四个道，分辨时間 $2\cdot10^{-6}$—$10^{-7}$ 秒． |
| ПС·10⁴ ("ФЛОКО")型定标器 | 用以記录統計分布脈冲和周期性脈冲(850赫芝—1兆赫芝)，計数制：10进位，定标比率：1:1；1:10；1:100；1:1000，分辨时間由1—200微秒． |
| БК-3 型定标器 | 定标比率：1:100；1:2，工作閾不超过0.5伏． |
| 单道脈冲分析器 | 用于测量脈冲分布的譜．甄别高度：0—100伏，微分道寬：1、2、5、10伏． |
| 电子微秒表 | 测定时間間隔或作定时器． |

图2为Б-2"П-349-2"型閃爍計数器．

展覽会以通俗易懂的图表，向观众們介紹了核能的来源，各种加速器加速带电粒子的原理，其中包括：同步迴旋加速器、30兆电子伏电子加速器、同步迴旋加速器以及稳相加速器的示意图．

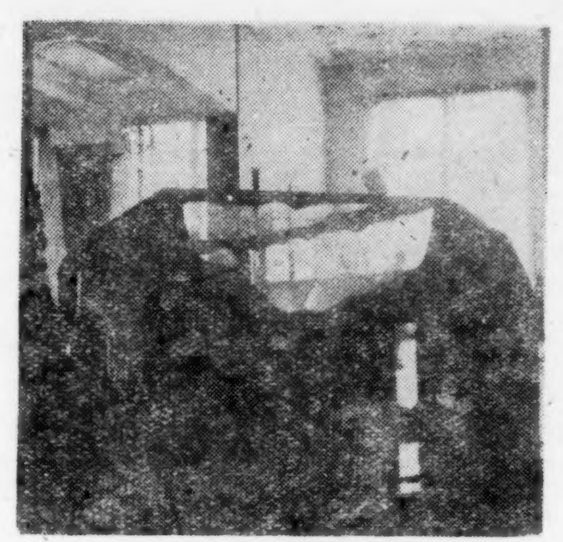
此外，序館中陈列了苏联在輻射記录器方面的成就，各种性能良好的計数管如：中子計数管、盖革-彌勒計数管、鐘罩型計数管、$\gamma$ 計数管，还有用塑料及有机或无机晶体制造的閃爍晶体及光电倍加管．

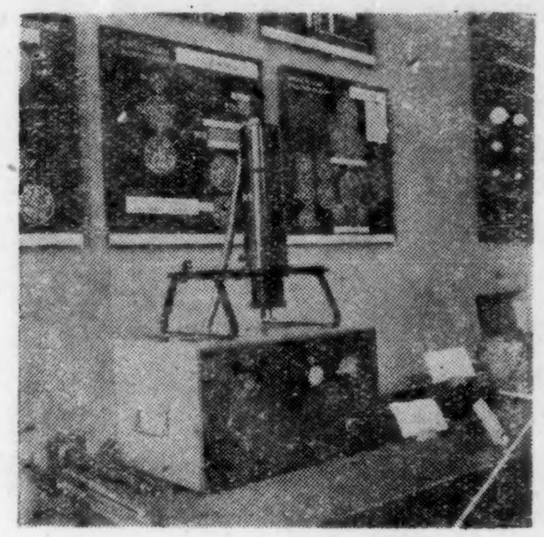
### 二、原子能动力工程部分

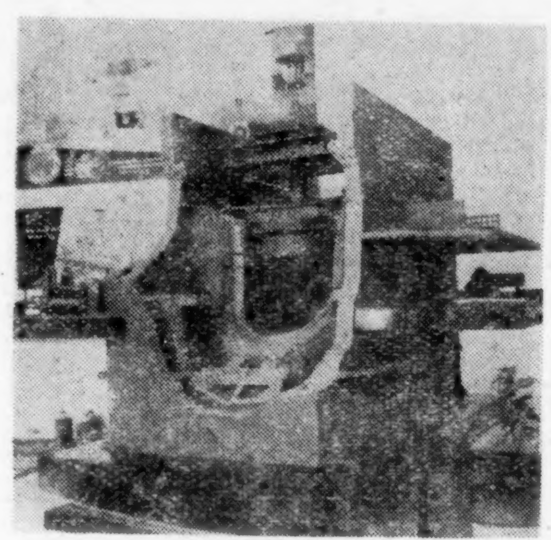
尽人皆知，苏联早在1954年6月，就建成了世界上第一座功率为5000瓩的原子能发电站，从那时候起，它已經生产了几十亿瓩小时的电能，这显示了它工作中卓越的可靠性．在动力工程館里，展出了这个发电站的模型，反应堆的图样以及工艺原理示意图．

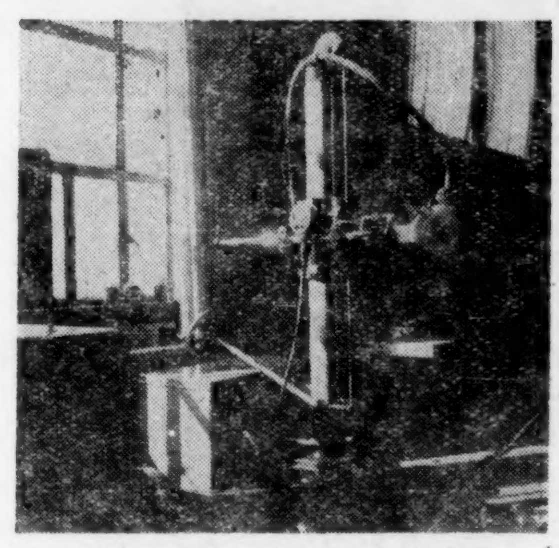
苏联政府要在第六个五年計划期內建200—300

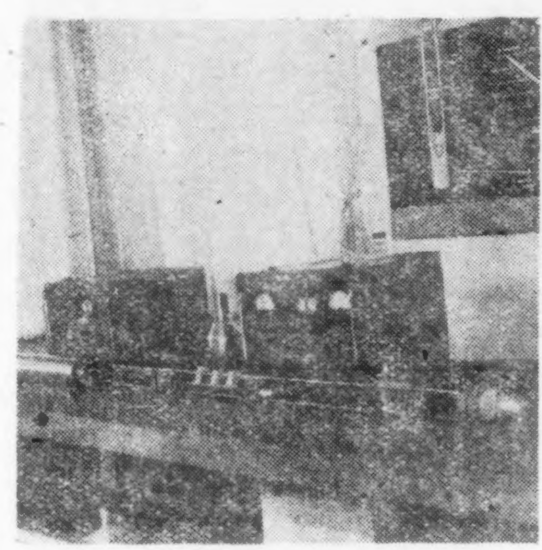
* 其他两部分下期續載．

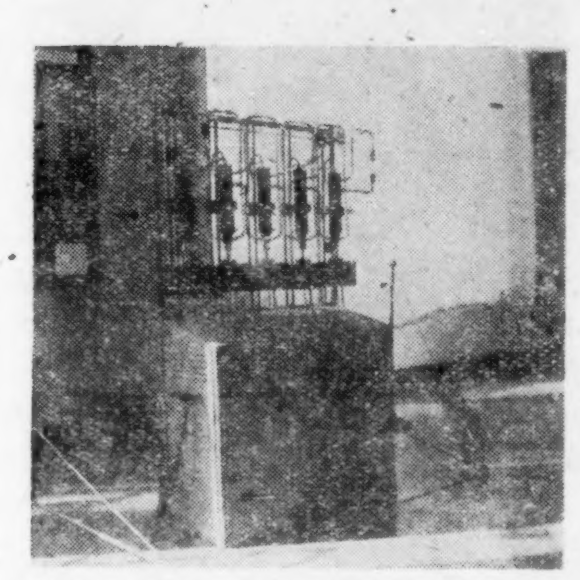

图1 核乳胶晒干联合机

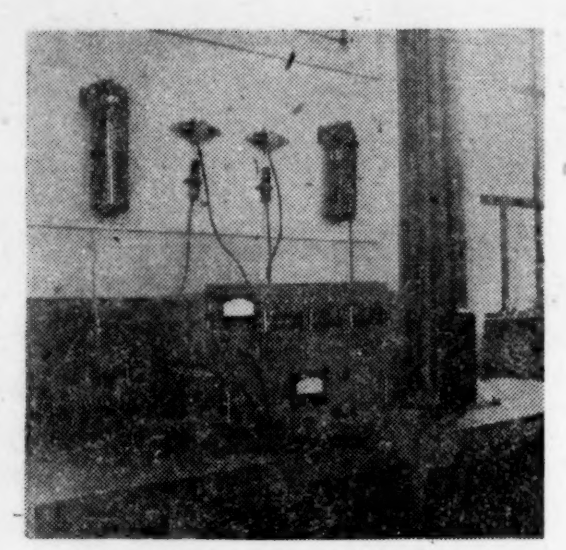

图2 Б-2 "П-349-2" 型閃爍計数器

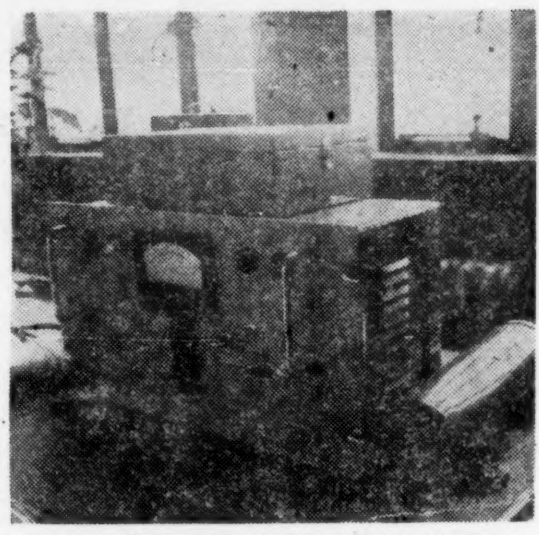

图3 50万瓩的鈾-石墨反应堆
(用液态鈉作为載热体)

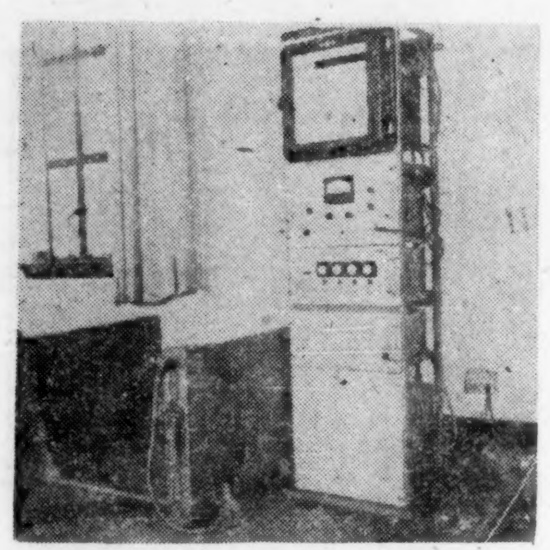

图4 ГУП-Co-5型工业用γ探伤仪

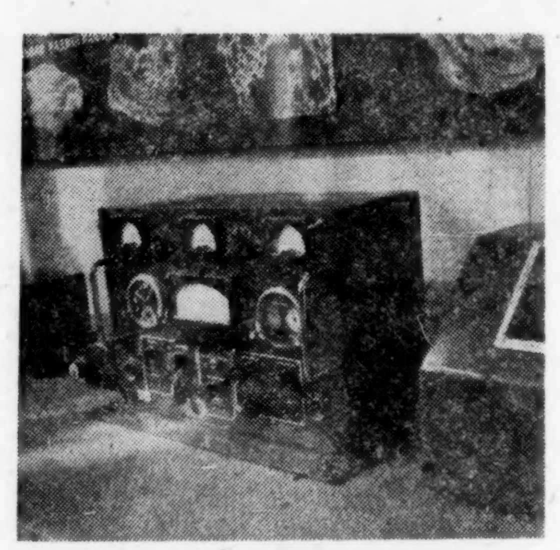

图5 "PAPK" 型放射性測井仪

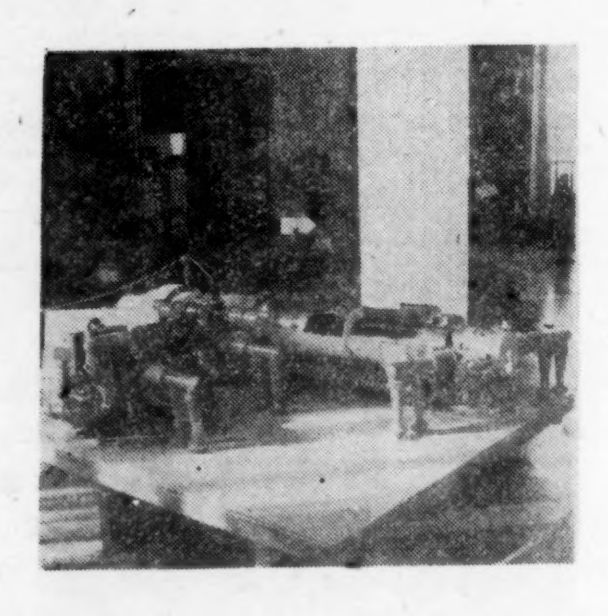

图6 用蒸汽流扩散法分离稳定同位素的装置

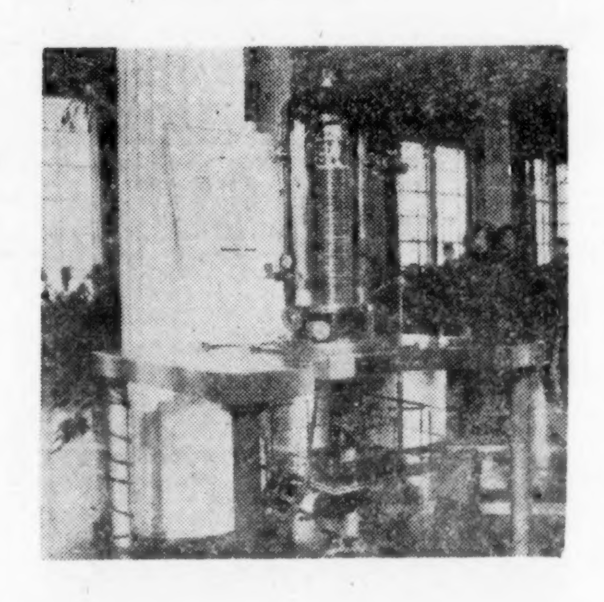

图7 "УСИД-1" 型多道信号测量装置


图8 "PH-3-1" 快中子和热中子探测器


图9 "PCP-3" 型幅射仪


图10 "KPT"重型 γ- 测井仪


图11 "奥格拉"絕热捕集器模型


图12 2.5 兆电子伏充气式靜电加速器

万瓩的原子能发电站．展覽会上我們可以看到苏联在建立反应堆及发电站方面的新的成就．

这里展出了另一个发电站——水水型反应堆电站模型．反应堆被封閉在用合金鋼做成的坚固的外壳內，直径为3.8米、长11米，其活性区的高度为2.5米，直径3米，共有21个浓集度为1.5%的二氧化鈾做成的释热元件，其外皮是用鋯做成的．反应堆用100大气压的普通水作为載热剂和减速剂，在反应堆內将被加热到270°C，在蒸汽发生器內为235°C，气压为32个大气压．

一幅大的照片，告訴我們，一个用天然鈾作为核燃料的鈾-石墨型60万瓩发电站，正在建造中，其第一部十万瓩的发电机巳开始运轉．

在动力工程館里，展出两种类型实驗性反应堆的模型，即水水型反应堆及重水反应堆．后者是与去年在我国建成的反应堆相同的．

这里，我們还可看到一种功率为50万瓩的鈾-石墨反应堆（НГ-50）（热功率20万瓩）（图3），它是用液态鈉作为載热剂的．用这种反应堆的原子能电站，現正在伏尔加河上的科学研究中心建造．

这反应堆，由液态热所导出的热量不是直接传給水，而是传給中間載热剂低熔点的鉀鈉合金，合金NaK通过蒸汽发生器使水轉变为进入汽輪机的过热蒸汽，附加用NaK合金的中間迴路，可以消除放射性鈉和水相互作用而爆炸的可能性．加入这NaK合金中間迴路，虽使系統复杂及拆装释热元件时不方便，但这反应堆里，第一迴路只有8个大气压（水載热时为100大气压），因而工作槽可以做成薄壁的，这样可以減少附加的中子吸收．同时載热剂温度可达500°C，这样可以用經济性高的汽輪机．

举世聞名的"列宁"号破冰船巳于1957年12月5日下水，其模型也展出在这里．

破冰船长134公尺，寬27.6公尺，排水量16000吨，44000匹馬力，它添一次燃料，便可航行一年无需靠岸，它可以破2.4公尺厚的坚冰．館中的一份图表上，介紹了列宁号与其他破冰船的比較，由此，我們可以知道"列宁"号破冰船的技术性能是无可比拟的．

动力工程館还以图表及实物向观众介紹了原子反应堆的材料，如鈾、鈹、鋯等．

## 三、同位素在科学技术上的应用

这里介紹了同位素在冶金工业上的应用，包括：1．利用放射性检查高炉炉衬及炉底的厚度，2．观察高炉炉料运动（如下降速度）及探测炉料面高度，3．平炉炼合金鋼中，检驗加入的金属混合均匀度，4．测量金属表面塗层厚度，5．在电炉熔炼鋼水时，用示踪原子研究非金属杂質来源．

展覽台上展出了用在生产过程中不接触而連續地測量厚度和重量的仪器，包括用来測量冷軋过程中鋼条厚度的"ИТУ-495"型装置、測量薄鉄片鍍錫层厚度装置，这些都是以γ射綫在不同厚度金属的不同的散射性質为依据的．

各式各样的、适用于在高温高压或密封容器內測量液面高度的液位計，也展出在这里，計有ИУ-2a型ИУ-3型金属液面指示器、РИУ-3型放射性指示器（宜用于食品工业和运輸用貯水池上）、ИУ-2手提式水位探測仪、壁厚度計、ИШ-1鋼珠探索器（用于快速探尋阻塞在蛇形管及弯道中之鋼珠），此外倘有带有跟踪系統的УР-4型放射性水位計（可以測知两个密度不同的介質的分界面）及一些用在自动控制电压及使电映机連續放映等的装置．

苏联在探伤方面主要是用放射性同位素$Co^{60}$、$Tu^{170}$、$Ir^{192}$、$Cs^{137}$、$Eu^{154}$等，同位素的γ輻射．这里展出了几种γ探伤仪：图4为ГУП-Со-5型工业用γ探伤仪．

放射性勘探在苏联被广泛采用，展覽会介紹了几种主要的放射性測井法：γ射綫測井法、中子-中子測井法及γ-γ測井法．

展品台上陈列了这些測井仪器，其中包括："НГГК-55"型及"РАРК"型放射性測井仪（图5）．

这部分还介紹了在輻射化学方面的工作及一些成果．

## 四、同位素生产

这里展出了用化学交換法制取$B^{10}$和$B^{11}$的方法的示意图、用精餾液态氢的方法制取浓集物HD示意图及装置模型．

稳定同位素被广泛地应用于科学技术領域中，因为它沒有輻射，因而无需防护設备，但为了制造大量的稳定同位素需要复杂的和价格很高的設备．这里展出了苏联应用的电磁設备的照片和資料及用物理化学方法分离稳定同位素的图解和装置．計有：Ме-4型質譜仪（灵敏度~0.03%，分辨能力1/750，需功率6瓩）、用电离分析法分离稳定同位素装置的示意图及照片，及用扩散法分离稳定同位素的装置（图6）．

展覽台还介紹了生产同位素的方法，在苏联多以热中子反应堆生产放射性同位素，照射后获得的放射性元素需經过专門的放射化学实驗室的化学处

理．展覽会介紹了获得不带載体的鐠 143 等的示意图．

这部分展出了一些照片，說明了应用放射性輻射源的主要部門和 β、γ 輻射源的某些种类．

## 五、防护技术部分

这部分以图表及示意图介紹了測量电离輻射剂量的方法，包括：离子法、閃爍法、照相法、半导体法、热量計法、威尔逊云室法、化学法．

展覽台上展出了各类型的輻射剂量仪，計有：ДКЗ-2М 防护检查剂量仪，用来测量 X 射綫和 γ 輻射，在 80 仟电子伏—3 兆电子伏內与輻射能量无关，测量范围 1—50 微倫/秒，"РГБ-2" 型攜带式 β、γ 輻射計、"КАРАГАЧ-2" 型干电池 γ 剂量計、"УСИД-1" 型多道信号测量装置(图7)、"СД-1М" 型信号器、КПН-2 型攜带式快中子及热中子輻射計，可测能量在 25—14 兆电子伏范围的中子及热中子流、"МАЛЫШ" 型攜带式探测仪，用于测快中子及热中子 α 粒子流、"РН-3-1" 型快中子和热中子探测器 (图8)、"ТИСС" 型测量仪等．此外，尙有个人剂量仪，如 "КИД-1" 型．

用有机高聚化合物作为收集放射性尘埃的过濾材料，它对空气尘埃有高度阻挡力，然而对通过它的气流的动力阻力却很小很小．展覽会展出了苏联出品的用极細纖制成的各种的高性能的过濾材料的样品．

放射性污水之排除和消毒是安全防护一个重要工作，这部分的示意图介紹了这些裝置和原理．

大厅里的机械手，引起观众們极大的兴趣．

## 六、鈾矿和鈾矿普查部分

作为原子燃料的鈾和釷具有多种多样的天然化合物，展覽会上展出了一百多种鈾的矿石和矿物．鈾矿物虽有 150 多种，但只有一小部分是工业用矿石，这些矿石有一小部分在紫外綫照射下能发光，因此就可以采用鈾的萤光分析，这里展出了观察矿石萤光的装置，但大部分鈾矿是不发光而放出射綫，在普查鈾矿时就广泛采用記录矿物輻射的輻射测量法．

在复土不厚地区，普查鈾矿时可用各种不同的 γ 测量，展覽会上展出这些装置的照片：有航空 γ 测量，汽車 γ 测量和徒步 γ 测量．在展覽台上我們还可看到各种徒步 γ 测量仪，及在实驗室条件下分析鈾矿的仪器 (見表 2)，其中一些 (如 "РСР-3" 型輻射仪) 是苏联 1958 年新出品的．

鉆探鈾矿时，常用鉆孔 γ-测井法，它易于发现矿体，确定其厚度以及估价矿石中鈾的品位．

展覽台上陈列了可在鉆孔深达 120 米及 1000 米情况时工作的 "КРЛ-М" 型和 "КРТ" 重型 γ-测井仪(图10)．

## 七、热核研究部分

太阳所以放出无穷无尽的能量，是因为在其中不断的进行着热核反应，也就是輕原子 (氢、氢的同位素氘及氚、鋰、硼等) 的核的聚变，聚变結果放出大量能量．展覽会上图表告訴我們，一杯重水燃烧时所发出的能量差不多等于一千吨煤燃烧时所发出的能量．

展覽会介紹了苏联科学家在热核研究方面所作

表 2

| 名称 | 性能用途 |
|---|---|
| ПРС-П 型手提式声响輻射仪 | 用于测岩石放射性，测量范围 7—1000 微伦/小时 |
| ПРС-Р 型手提式声响輻射仪 | 用于测岩石放射性，测量范围 50—1000 微伦/小时 |
| ПГР 型輻射仪 | 用于定性测定和半定性测定 β,γ 射綫強度 |
| "УР-4М" 型万能輻射仪 | 用于坑道和野外普查工作中来定量测定 γ-輻射強度，其探测器有不銹鋼制成的 γ 計数管，测量范围 15—10000 微伦/小时 |
| СГ-42 型閃爍輻射仪 | 1958 年出品，灵敏度 2 微伦/小时，测量范围 800 微伦/小时 |
| СРП-1А 型閃爍輻射仪 | 灵敏度 2 微伦/小时，测量范围 1250 微伦/小时 |
| РГР 型 γ 輻射仪 | 测 β,α，外壳結构牢靠，可防止在矿井测量时引起爆炸 |
| ЛЮФ-51 型发光光度計 | 用于测定在氟化鈉珠球中的鈾含量，这是在实驗室条件下利用紫外綫用肉眼比較試驗样品与标准样品的发光強度 |
| "ПАС" 型实驗分析裝置 | 本仪器有三个附件，可根据射綫性质，α; β; γ，分别精确定量分析和研究在任何平衡状态下的鈾矿和鈾釷矿 |
| "РСР-3" 型輻射仪 (图9) | 用于鑑别和分析大量开采的鈾矿，能自动將一車車的鈾矿分成等級記录下来，从而可以迅速算出每天的鈾矿开采量 |

的重大努力，早在1950年苏联就开始了热核反应的研究，那时塔姆院士和薩哈洛夫院士就曾建議利用磁場来絕緣等离子气体．并在1956年公开了热核研究工作．从而促使了其他国家也相継发表有关的文献，这是苏联在为謀求人类幸福的范例．

一系列的照片及图表介紹了苏联在热核研究方面的发展情况．这里展有苏联最早的“环形放电”装置图．这种形式装置的室內放电是由电流脈冲通过环形室中的繞組激发的．

这部分介紹了苏联在研究环形室和电极室內进行过程情况的实驗方法．用超高速电影攝取法、分光鏡法、高频等离子的探測及其他的方法来研究等离子气体，确定它的浓度及温度．

展出的另一部分图表介紹了苏联科学家在热核仪器方面的設計，这些方案中有：在靠近等离子边緣处安置带电流的金属棒以获得等离子气体．利用諧振中高频磁場以保持等离子气体等等．

这里还介紹了苏联科学家在稳定等离子气体方面所作的努力，他們在1953年实現“凝固”磁場稳定作用的实驗检驗．1952年起苏联物理学家研究了等离子柱不稳定的各种形态及其稳定方法，并証实用等离子气体中“凝固”的磁場和导电的外売可以稳定等离子柱，螺旋形磁場可以稳定长度小于磁力綫螺距的等离子气体．

利用磁捕集器来得到热核反应方法，受到极大的重視．我們从展出的一些示意图可以了解磁捕集器的基本原理．展覽会上展出了“奥格拉”絕热捕集器的模型（图11），这捕集器的眞空室长20公尺，直径1.4公尺．采用了特殊的注射器，把快速离子引入“奥格拉”的眞空容器中．

展覽会还展出了理論及实驗工作的某些結果．

展覽会上我們还可以看到一座能量为2.5兆电子伏充气式靜电加速器精致的模型（图12）．

（李向程报导）

# 苏联科学家在联合国科学委員会中关于原子輻射影响的研究工作

（根据1958年7月11日苏联科学院主席团放射性生物委員会扩大会議資料）

根据联合国大会的决議，于1955年12月成立的联合国原子輻射科学委員会，由苏联，美国，大不列顚，法国，捷克斯洛伐克，加拿大，阿根廷，印度，埃及等15个联合国会員国的代表团組成．委員会的任务是收集关于天然輻射水平变化程度，这种变化的各种源，以及輻射对人体及动物作用的資料．

参加委員会的各国卓越的科学家都参加了該委員会的工作．苏联代表团的成員有：苏联医学科学院通訊院士勒柏津斯基（А. В. Лебединский）（代表团团长）及克拉耶夫斯基（Н. А. Краевский），阿格林采夫（К. К. Аглинцев）教授，依薩耶夫（Б. М. Исаев）教授，庫津（А. М. Кузин）教授，基列耶夫（П. М. Киреев）教授．

在苏联科学院放射性生物委員会的会議上（会議的工作总結刊登在本文內），苏联代表团团长勒柏津斯基作了关于委員会工作的詳細报告，給苏联科学家們介紹了委員会工作的主要阶段，委員会的决議內容，以及苏联科学家在研究这些决議中所起的作用．

委員会工作的結果編写了文件——联合国大会委員会的报告，这个报告应在1958年秋季的联合国大会的定期常会上审核．这个文件是有关天然輻射水平及輻射源，近几年来該水平的升高，对人体作用的各种輻射源，小剂量輻射对人体及动物的影响，以及輻射作用对躯体及遺传的可能后果的全部近代資料的綜合报告．

报告的最后一章包括根据彙集报导所拟制的結論及建議．

文件的結論按单独章节簡略归納如下．

根据放射性生物的一般資料，可以作出这样的結論：作用于人体的輻射水平，现在普遍升高；核武器試驗爆炸时所产生的大量长寿命裂变产物 $Sr^{90}$ 和 $Cs^{137}$ 是这种輻射的主要的源．排入同温层的这些物质随着雨、雪和其他沉降物逐漸降落到大地上，沾污了土壤，被植物所吸收，进入动物及人体內，然后在机体內产生連續照射．这种源与其他源（如医用X射綫治疗或工业放射性沾污）不同的主要特点在于：第一，核武器試驗所产生的沾污水平不断升高，第二，这种升高是人所不能控制的．

在委員会的資料中包括表征这种沾污水平的定

量数据．地面上最危险的同位素 $Sr^{90}$ 的量为：在日本約 8 毫居里/平方公里，在苏联各地从 5 到 10 毫居里/平方公里，在美国东海岸測得最大沾污度达 21 毫居里/平方公里．

关于食品中 $Sr^{90}$ 的含量数据，具有重要意义．如果牛奶中含 5 到 10 鍶单位*，则象大米这样普遍的食物中含 260 鍶单位（根据日本資料）．其他谷物，如小麦約含 70 鍶单位（按苏联科学家数据）．

在这里特别指出了美国、英国和苏联所提出的关于儿童骨骼内 $Sr^{90}$ 含量的資料．根据美国的資料，骨骼内 $Sr^{90}$ 的平均含量約为 0.6 鍶单位，根据英国資料，为 1.1 鍶单位，根据苏联科学家所收集的資料，达 2 鍶单位．这些数字是这样得知的：美国資料于 1956—1957 年获得，英国資料于 1957 年上半年获得，苏联的資料于 1957 年年底获得，因此，这些数字的增长表明放射性沾污剧烈增加．

在預測未来沾污水平方面，委員会也进行了艰巨的工作．如果将継續进行核武器試驗，那么在估計人类所受到的危险性程度方面，这种艰巨的工作，是非常必需的．根据美国科学家所提出的假設表明，1954—1957 年 $Sr^{90}$ 和 $Cs^{137}$ 的降落速度相等，同温层中达到了平衡，因此以后的放射性降落强度不变．

苏联代表团提出另一个假設表明，还沒有达到平衡，有待 10—30 年以后再确定．根据在这一假設的基础上所进行的計算，在接近第 2000 年时，沾污度数字較根据第一个假設所得的数字大 2—2.5 倍．阿格林朵夫所进行的計算是这样令人信服，以致于委員会采用了这两种假設，而且在报告談到預言未来的那一部分中，就包括了这两种估計．

在討論放射性对人体作用水平升高后所产生的生物后果时，委員会曾涉及到許多重要的理論性問題．

其中一个問題就是輻射作用閾存在与不存在的問題，也就是是否有那样最小的剂量（在这个最小剂量以下，輻射作用不能引起机体內的变化）的問題．

現在可以肯定地認为，对遗传变化說来，这种閾是不存在的：无論多大剂量的輻射作用都会引起生殖細胞內突发的变異（变化），其結果产生了新的（人体內大半是不良的）遺传性特征．

可以認为，沒有遺传性的軀体变化（即机体內的变化），只要在一定剂量的輻射作用下，就可产生．例如，輻射总剂量在 40 至 400 倫琴时，会产生組織的恶性（癌的或肉瘤病的）变質；在較小剂量作用下不会产生恶性变質．

苏联代表团被委託編制一章关于輻射作用的軀体后果．实驗实际資料在一定程度上所确証的苏联科学家的理論見解，促使委員会承認，有各种根据可以認为，不存在閾剂量的情况是正确的（至少对产生恶性贅瘤）．产生恶性贅瘤的几率与人一生中所得的輻射总剂量成正比．

这种理論性的概念，对实际結論是特別重要．事实上，如果产生恶性贅瘤（以及不良遺传变化）的閾不存在，則天然輻射水平任何升高都是有害的，因为天然輻射水平的升高会增加遺传病及恶性贅瘤（如白血性增生，骨肉瘤等）的頻度．委員会在自己的最后結論中承認，无論多大的附加輻射作用对人体是有害的．

勒柏津斯基在自己发言中强調指出，苏联科学家論証該結論的明确的理論概念的重要性．

报告最后一項（包括最后建議）的討論实际上是最重要的．在西方国家代表团所提出的和大多数人通过的这項条款中包括关于进一步研究輻射水平升高及对人体的影响的建議，承認任何附加輻射对人体的危害性以及号召世界各国尽可能不要使輻射水平升高．苏联的条款受到捷克斯洛伐克与阿拉伯联合共和国代表团所贊成，該条款与西方国家涉及到进一步研究及承認天然輻射水平任何升高的危害性那部分相一致，这一条款直接向联合国大会建議，禁止今后进行原子核及热核武器的試驗．

这二个条款已列入报告的最后条文中．

在回答問題时，勒柏津斯基不止一次地强調指出，在委員会通过报告的最后条文过程中苏联科学家的研究所起的作用，尤其关于在杜比宁（Н. П. Дубинин）領导下所进行的猴子遺传学的研究．

在勒柏津斯基报告后，展开了热烈的辯論．

希薩康（Н. М. Сисакян）交換了自己訪問日本的感想．他介紹了日本科学家对在大米中以及在太平洋所捕获的魚中，含有很多放射性鍶及其他裂变产物而感到极大不安．

杜比宁在詳細分析輻射遺传危害时，进行了計算，証明 30 年內10倫琴的剂量会使人体的突变数加倍（委員会通过），并指出，在 30 年內 1 倫琴的剂量就会使地球上 0.4%的人口（1 千万人）产生严重的遺传病．杜比宁强調指出，在放射性遺传学方面作进一步广泛研究的必要性．

列塔維特（А. А. Летавет）指出，除委員会报告

---

* c.e. ——鍶单位——1 微微居里 $Sr^{90}$/1 克 Ca，它表示对化学和生物性質与鍶相似的 Ca 元素比値的鍶含量（所謂鍶的非同位素載体）．

中所談到的 $Sr^{90}$ 及 $Cs^{137}$ 以外，还有对人体健康有害的其他放射性裂变碎片，其中有放射性 $Ru^{106}$，呈灰尘状进入人的肺部，能引起肺癌.

阿里哈年(С. И. Алиханян)提到委員会报告中未考虑到的另一种危险性——微生物产生突变的可能性，这些突变能产生細菌和病毒的新变态，这样会引起新的不知名的严重流行病. 很可能，最近的流感大流行就是这样产生的.

凱列奇柯夫斯基 (В. М. Клечковский) 指出考虑到放射性物质在外界环境及人体內分布的不均匀性的必要性，放射性物質可能在一定地方和一定数量居民中积聚，对于这些居民能造成較大的危险性.

克拉叶夫斯基 (Н. А. Краевский) 敍述了苏联代表团在委員会的研究工作中所遇到的那些困难，其中他詳細地說明了如何能証明骨肿瘤和白血性发展的严重危险性的情况. 他指出：必須广泛統計地研究职业与輻射有关的人的患病率，其中有 X 射綫学的医生.

庫津(А. М. Кузин) 詳細地敍述了估計遺传学危害时，苏联代表团所起的作用.

貝柯夫(К. М. Быков) 指出，在估計躯体輻射效应时，不但要考虑到恶性肿瘤发展的可能性，而且要考虑到小剂量輻射对神經系統的影响. 現代科学已拥有有关能发生这种影响的一定資料.

勒柏津斯基在結束語中指出，委員会工作的結果表明，在一系列放射性生物学部門，苏联科学超过了外国科学，他并号召进一步扩大研究，其中有放射性生物学及輻射作用一般生理規律性的理論問題的研究.

放射性生物委員会主席恩格利高尔特 (В. А. Энгельгардт) 对苏联代表团在联合国原子輻射委員会中的工作給予很高評价，会議的所有参加者一致贊同这种評价.

С. Л.

## 国际学术交流会"和平利用原子能及青年"

1958 年 8月初，于莫斯科，在国立莫斯科大学举行了国际学术交流会"和平利用原子能及青年". 此次学术交流会是由苏联青年組織委員会在世界民主青年联盟和 ЮНЕСКО 事业委員会协助下举办的. 出席这次学术交流会的有 45 人：他們都是来自 27 个国家(其中包括美国，英国，法国，日本)的大学生，研究生，青年科技工作者. 苏联有名科学家給学术交流会的参加者作了报告*："原子能物理基础"(荣获列宁奖金的克拉辛 (А. К. Красин)教授)，"同位素及原子核輻射在科学研究及工业中的应用"(格魯津 (П. Л. Грузин)教授)，"放射性同位素在生物学及医学中的应用"(莫捷斯托夫 (В. К. Молестов) 教授)，"苏联在选择最經济的原子动力反应堆方面的大型工业实驗"(物理数学科学博士卡查齐柯夫斯基 (О. Д. Казачковский) 教授)，"放射性沉降对人类之影响"(勒柏津斯基 (А. В. Лебединский) 教授)，"和平利用原子能事业中的国际合作"(叶夫列莫夫 (Д. В. Ефремов) 教授).

学术交流会的参加者，积极参加了下面問題的討論："本国的原子能和平利用及在这一領域內所取得的成就"，"消除原子战爭威胁的途径及青年的作用".

外国客人們还参观了杜布納的联合原子核研究所，卡尔波夫 (И. Я. Карпов) 物理化学研究所，季米梁捷夫 (К. А. Тимирязев) 全苏农业科学院，巴依柯夫 (А. А. Байков) 冶金研究所，全苏石油加工科学研究所，苏联科学院原子能电站. 客人們还参观了全苏工业展覽会的"和平利用原子能"館.

同时他們还观看了苏联和平利用原子能的科学普及影片. 在学术交流会进行过程中，参加者会見了苏联大学生和青年科技工作者，并在科学技术問題上交换了意見.

В. П.

* 照片見插頁.

## 挪威工程物理研究机构

由阿弗里卡托夫 (И. И. Африкантов)，弗拉索夫 (Н. А. Власов) 及斯克瓦尔佐夫 (С. А. Скворцов) 所組成的苏联代表团应挪威-荷兰联合原子能研究所所长朗捷尔斯教授(Г. Рандерс)的邀請于 1958 年 5 月訪問了挪威.

代表团訪問了在凱列尔 (Кьеллер) 的联合研

究所，奥斯陸的克威尔涅尔布魯克（Квернер Брук）机械工厂，哈尔頓的工业沸騰重水反应堆的建造，卑根的米海利逊（Михельсон）研究所，卑根大学物理系，特隆汉工业大学及奥斯陸大学的物理系．这些研究机构实际上完全掌握着挪威的工程物理研究及工业設計．

凱列尔联合研究所（奥斯陸西北25公里）是挪威主要的原子动力中心．这里进行着物理学，化学及反应堆工程方面的研究，設計工业动力装置，生产同位素，进行組織及領导同位素的各种实际应用．研究所共有七个研究室，其中主要的是物理、化学、工程及同位素的研究室．

研究所內有220人工作，其中有外国专家．自研究所成立起，已有来自15个国家的45位科学家在这里工作过．

研究所的最大装置是功率为450瓩、中子通量达$1.3\times10^{12}$中子/平方厘米秒的重水反应堆．目前小型热室的安装即将結束．正在建造化学实驗大楼．

物理研究室进行着反应堆物理学方面的理論和实驗工作以及反应堆上中子物理的实驗．研究室設計了哈尔頓工业重水沸騰反应堆，該反应堆預定在1958年年底建成．同时已設計了船舶发动机用的反应堆，首先是大型油船反应堆．使用了英制大型电子計算机进行計算．反应堆物理的一部分实驗工作是在凱列尔进行的（蒸汽反应堆的研究），一部分是在斯德哥尔摩与瑞典专家一起进行的（各种栅格的指数实驗）．

在反应堆中子物理研究方面，有两个晶体譜仪和一个机械单色器．利用其中一个晶体譜仪以氢替代重氢，来进行有机晶体（如抗坏血酸）結构的中子照相研究，用另一个晶体譜仪研究磁化样品的中子非弹性散射．与晶体中子照相研究的同时，还进行了X射綫照相研究．使用机械单色器研究0.01—0.001电子伏能量范围內中子的总截面．此外，装置用来研究$\gamma$光子对极化中子俘获的圆极化（Круговой Тюляризации）．

化学研究室进行着重水，裂变产物，鈈及鋁的分析；这里还研究燃料再生的各种問題．利用干涉仪每天进行重水中氢的杂质的分析．利用64道振幅分析器（在研究所的电子实驗室內制造的）的电离室以$\alpha$能譜法测定鈾中鈈的含量．并且还研究了高温水中耐腐蝕的鋁合金制造的問題．

研究所內正設計用作释热元件的二氧化鈾小片的制备工艺过程．二氧化物熔結成小片是在溫度約1700°C下进行的，其結果能得到96%的密度（为理論的）．在鈾球的磨碎机內将二氧化物进行預先磨碎，这样可避免有害杂质沾污粉末．关于磨碎細度和粉末表面大小对熔結质量影响的問題已經弄清楚了．

在同位素研究室里，因中子通量不大（$\sim10^{12}$），而生产放射性不大的制剂．該研究室設在挪威淪陷时期为德国兵所建造的旧木房內．目前正为研究室建造新的大楼．

研究室出售多种同位素，这些同位素在国內外都被采用；研究室供应給同位素用戶測量仪器及設备．出售同位素及工业設备的收入为研究所預算的5%左右．所使用的測量仪器比英美产品要好．放射性大的試剂（如Co）以及$C^{14}$都是从英国购买的．

**哈尔頓反应堆** 沸騰型反应堆是在达尔（Дал）教授領导下在哈尔頓进行安装的，它将成为挪威第一个动力反应堆．反应堆的設計热功率为2万瓩，它将給附近造紙厂供应蒸汽．今后預計生产5000瓩电能．在該反应堆內使用重水作为慢化剂和載热剂，用自然循环的方法将热导出．

装置的綫路是双迴路的，在第二迴路中生产压力为16个大气压的飽和蒸汽．而在第一迴路中的压力为28个大气压．

活性区是由316根具有鋁壳的棒形释热元件組成，这些释热元件按三角形栅格分布，格距130毫米．金属鈾棒的直径为2.54厘米．元件用下部栅格支持，并装有六个纵向筋条，筋条外緣直径为40毫米．为了使在一定范围內汽化与防止活性区外围水循环的翻倒，将每一元件放在直径为74毫米的管內．除此，释热元件周围蒸汽泡沫的集中会使反应堆的反应性提高．今后打算元件改用二氧化鈾．每一根管子內将装五根小直径弱浓集的二氧化鈾棒，它放在不銹鋼密封的小管內．二氧化鈾的比重为理論的92%．

在采用第一种元件时，装鈾量为7吨．反应堆壳內的重水量为15吨，整个系統內为16吨．

反应堆內有19根調节棒；棒为管状的，由鎘制成；系統內的調节机构与传动装置是采用磁联接．所有传动装置的构造是相同的，而只是棒的移动速度不同（棒用来快速或慢速的改变反应性）．用电离室和反应堆內的压力給出脉冲以移动調节棒．

活性区放在压力为40大气压的鋼壳內．壳的內径为2.7米，高5.5米，壁厚60毫米．壳用厚700毫米的平盖盖住，平盖上有很多孔；每一释热元件經过盖放到反应堆中，提出释热元件时可以不取下盖．壳壁由热軋二重金属制成．壳的內表面敷有厚5毫米的不銹鋼．

根据計算，活性区中央的中子通量应达到 $3\times10^{13}$ 中子/平方厘米秒，平均通量与最大通量的比值为 0.275. 加热表面最大的热負載在反应堆功率为 2 万瓩时等于 90 瓦/平方厘米.

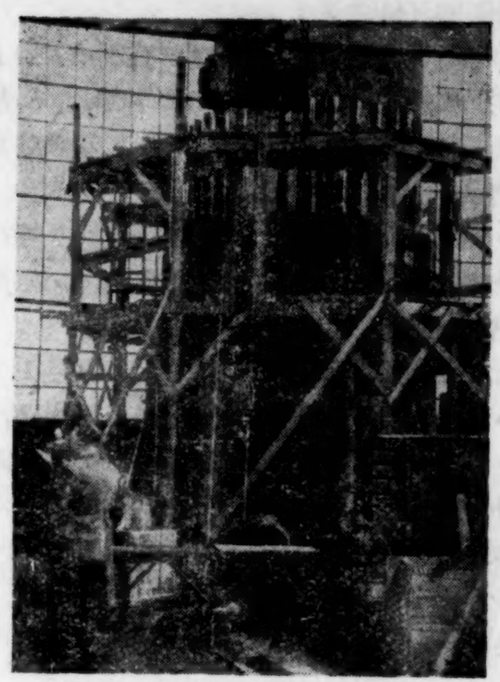
反应堆壳是在奧斯陸的克威尔涅尔布魯克机械工厂制造，試驗压力达 35 大气压. 試驗的結果很滿意.

反应堆的側面防护层采用水 (300 毫米) 与混凝土，并装有冷却蛇形管. 上部防护层 (厚 250 毫米的鑄鉄层) 将調节棒的传动装置盖住.



照片上：学术交流会"和平利用原子能及青年"的参加者与列宁奖金获得者克拉辛 (А. К. Красин) 教授談話. 自左至右：研究生卡查采夫 (Евгений Казанцев) (斯維尔德洛夫斯克)，物理工程师哈桑 (Хассан Абд-эль Халим Хассан) (阿拉伯联合共和国)，克拉辛教授 (А. К. Красин)，研究生尼雅卓娃 (Озот Ниязова) (塔什干) 及物理工程师奧斯曼 (Осман Салех Мохаммед) (阿拉伯联合共和国).

雅辛 (Н. Рясин) 摄



机械工厂車間內哈尔頓反应堆外形.



哈尔頓反应堆操纵台旁. 自左至右：斯克瓦尔佐夫 (Скворцов)，达尔 (Дал) 及爱里克逊 (Эриксен).



哈尔頓反应堆的頂盖.

在迴路中有慢化剂的附加冷却器，冷却器可取下15%的热(3000 瓩). 同时它是第二迴路的节热器. 这个热交换器是实驗性的. 被冷却的慢化剂或从上面送到反应堆内，或送到释热元件的管内，在这种情况下考虑有調节流量的可能性.

在具有U形管的蒸汽发生器内，在二个管格開得进行洩漏检査.

重水蒸汽在壳内冷凝，而普通水在管内流动. 水的强制循环倍数等于10.

管格由不銹奥氏体鋼(鋼18-8)制成，为了避免在应力下的腐蝕，管子是由鉻鉬鋼制成. 从腐蝕观点出发，氯在水中的含量約1毫升/立升的数量級是不容許的.

一个蒸汽发生器的蒸汽发生量为17吨/小时；为了保証热功率2万瓩，需要二个蒸汽发生器. 由282根管子保証加热表面(133平方米).

蒸汽分离器的体积为6立方米，直径1.13米，高5.5米. 在上部装有旋风分离器. 輸出蒸汽的設計湿度为2—3%. 一个分离器供二个蒸汽发生器用. 慢化剂的冷却器与蒸汽发生器的型式相同. 由88根管子組成的冷却器的加热表面有40平方米. 重水在管子中循环，普通水在冷却筒内流动. 整个热交换器是由不銹奥氏体鋼制成，因为在其中沒有汽化.

整个哈尔頓装置安装在位于城市附近(在城郊)的开凿在坚硬岩中的房間内. 在通往反应堆大厅的长50—60米的走廊内有二层厚300—500毫米混凝土隔墙，并有密封門. 大厅的体积使在反应堆爆炸及堆中含水的自蒸发情况下，建立厅内压力3—3.5大气压.

反应堆的操纵是在位于距离岩石的入口～30米的厂房内进行.

**在卑根的米海利松研究所** 是按遺囑留下的資財在1928年建造的私营企业，在所内工作的有40人. 所内設有人文研究室. 自然科学研究室的工作与挪威工业有很密切的联系，并在自己的加工厂内对检查測量仪表，操纵防护系统，包括为哈尔頓反应堆的試驗样品及单个样品进行設計和制备. 研究所还进行热工研究，主要研究汽化和自然循环建立問題. 由于設計哈尔頓反应堆也曾提出了这項研究工作.

**卑根大学物理系** 它是由特罗姆比(Б. Трумпн)教授領导. 系的实驗室內装有靜电加速器，电子迴旋加速器及观测宇宙綫的装置.

不充气的靜电加速器在不久前失火后才修繕的. 加速器給出粒子能量为1.2兆电子伏，修繕后預計可得到能量为1.5兆电子伏的粒子. 系內有挪威制造的布赫涅洛夫型磁譜仪；譜仪过去和将来都用作(d, p)反应的能譜測定. 为了研究(d, n)反应，制造了按飞行时間的快中子譜仪. 时間的零标記将用与中子重合的$\gamma$光子記录来进行. 譜仪的綫路是一般的，是根据利用标准多道分析器将时間变为振幅的原理.

电子能量达40兆电子伏的电子迴旋加速器已进行工作，它是用来研究($\gamma$, p)反应的能譜及质子的角分布.

在宇宙綫实驗室內按照国际地球物理年計划进行着宇宙綫各种成分的观测.

**特隆汉的工业大学** 挪威人称它为技术大学. 在大多数工程专业方面，它是挪威主要的唯一的工程师学校. 在奥斯陸和卑根的大学里也培养着少数物理、化学及地质学者.

物理系由維斯琴(С. Вестин)教授領导. 物理系的实驗室內装有靜电加速器，測量$C^{14}$样品齡的装置及研究微波与气体放电的一些仪器.

測量$C^{14}$齡的实驗室內有分析及精淨$CO_2$用的化学装置，大型蓋革計数管及正比計数器. 所測量的极限齡达到40000年. 这里曾測量过不久前发掘的航海輪年齡(約1000年). 目前正进行測定挪威各种冰磧石及其他沉积的年齡.

在微波实驗室內进行設計实用的及研究水銀蒸汽在磁場內气体放电的噪扰譜用的仪器.

在系內成立有人数不多的理論研究組，該組由維尔蓋兰特(С. Вергеланд)教授領导，它进行原子核物理、固体物理、声学方面的研究工作.

**奥斯陸大学** 大学的物理系每年有15—17个学生毕业. 系的实驗室內有靜电加速器(与特隆汉的靜电加速器相同)，所得粒子的能量达2兆电子伏.

这里研究了有很好分辨率的Al, Mg, Si, S的(p,$\gamma$)反应的激发曲綫，并且記录了$\gamma$光子或衰变正电子. 現有的磁式偶$\gamma$譜仪改装成(d, p)反应的质子分析器，用磁式偶$\gamma$譜仪来观測Li(p,$\gamma$)及B(p,$\gamma$)的$\gamma$射綫.

在系內有宇宙綫实驗室，該实驗室由索林逊(О. Соренсен)教授領导，在实驗室內用照相乳胶法研究宇宙粒子造成的星裂重碎片(Li, Be, B). 这些研究工作在巴烏埃尔(Пауэлл)教授及意大利科学家合作下进行的. 这里已研究出按径跡端面积測定碎片电荷的方法. 目前正进行碎片能譜及角分布的研究. 除核研究实驗室外，系內还有光学、声学、固体及液体的实驗室，以及为核实驗室与声学实驗室服

务的电子学实驗室．电子学实驗室已制造出解綫性方程的模拟机．

**原子核动力远景**　挪威拥有大量的水为資源．水电站的能量价格便宜，在很多情况下用作采暖．同时挪威鈾的矿床很少，而且是貧矿．因此挪威在取得哈尔頓反应堆运轉2—3年的經驗前不打算发展原子核动力．

而且，因为挪威拥有較大的商船队(按載重量世界第三)，重要地应研究利用原子发动机发展航行的远景，主要着重水水型非沸騰反应堆．但是在这領域内国内进行大規模实驗的可能性，由于資財不足而受到限制．

*　*　*

虽然人員較少，大量大型現代化的設备受到极大限制，但是挪威实驗室内却进行了一系列完全現代的，具有实际及科学意义的研究工作．設备选择中的經济性以及設备充分有效的利用，乃是挪威实驗室所具有的特点．

更好的方式是撥款給能保証經济效应和工业公司所支持的实用研究工作．通过这样的方式，能使科学与工业緊密地結合，而在科学家之間醞釀着一种能促进选择实际上重要的和在經济上合算的研究工作主題的經济途径．

*　*　*

代表团对朗捷尔斯教授和他們所会見过的及座談过的全体挪威科学家表示万分的感謝，感謝朗捷尔斯教授的邀請，感謝他們的懇懃招待，亲切地給予他們了解所进行的研究工作的可能性．代表团深信，今后的互換訪問和情报交流对于苏联与挪威两国将是所希望的和有益的，并将获得更广闊的发展．

弗拉索夫 (Н. А. Власов)

斯克瓦尔佐夫 (С. А. Скворцов)

# 取得高眞空的低温方法

烏克兰共和国科学院工程物理研究所的一組研究人員(費多洛夫 (М. Ф. Федоров)，齐恩 (Н. М. Цин)，米哈依洛夫 (И. Ф. Михайлов)，格里施 (С. Ф. Гришин))在拉查列夫 (Б. Г. Лазарев) 院士和物理数学科学博士巴洛維克 (Е. С. Боровик) 的指导下，設計了两种低溫高眞空裝置．

其中一种裝置是在很低的溫度下，使抽出的气态产物的蒸汽压力，实际上能达到很低很低．例如在冷却到液体氫溫度 (20.4° 絕对溫度)的表面上，氮的平衡压力約为 $10^{-10}$ 毫米水銀柱，而氧的平衡压力还要小 ($10^{-11}$ 毫米水銀柱)．因此冷却表面就成为这些气体的眞空泵．例如1平方厘米这样的表面相当于能抽 ~11.5 升/秒空气的眞空泵．根据这种方法設計了几种抽空气泵，抽气速度达4万升/秒以及极限眞空 $10^{-8}$ 毫米水銀柱(图1与2)．裝置里使用了一般眞空技术的另件及方法(有橡皮密封的法兰連接，閥門及其他)．这些眞空泵的特点是在很大压力范围内抽气的速度不变．

另一种裝置是使很多冷却到低溫的物質(炭，矽胶)能在較小的平衡压力下吸附大量气体．如在用液体氮冷却过程中，上述的一立方厘米的吸附剂能吸收約1—2立方厘米空气，并形成很低的余压(小于 $10^{-7}$ 毫米水銀柱)．

根据第二种方法能設計出抽气量1000升/秒的眞空泵結构．在設計这一种眞空泵时，弄清了抽气元件最合适的結构，同时确定了它們的主要性能(极限眞空，与眞空有关的抽气速度，吸收气体的总量)．图3所示乃是有圓柱形空腔的抽气泵，空腔内部有一层很薄的吸附剂，薄空腔外部用液体氮进行冷却．

这些泵的特点是抽气速度随着系統內压力增大而增加．为了使吸附泵进行工作，必須首先用普通前級眞空泵将系統抽到約 $5\times10^{-2}$．在这些条件

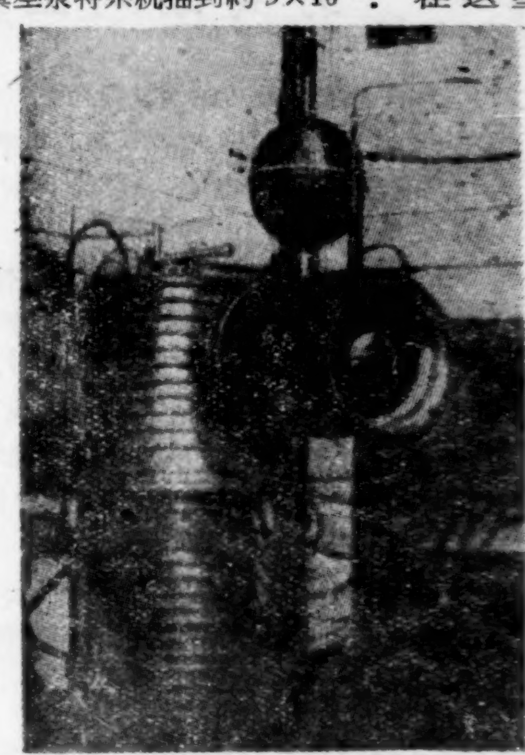


图1　抽气率为4000升/秒的氫气冷凝泵(抽空气)．用注入液体来冷却．

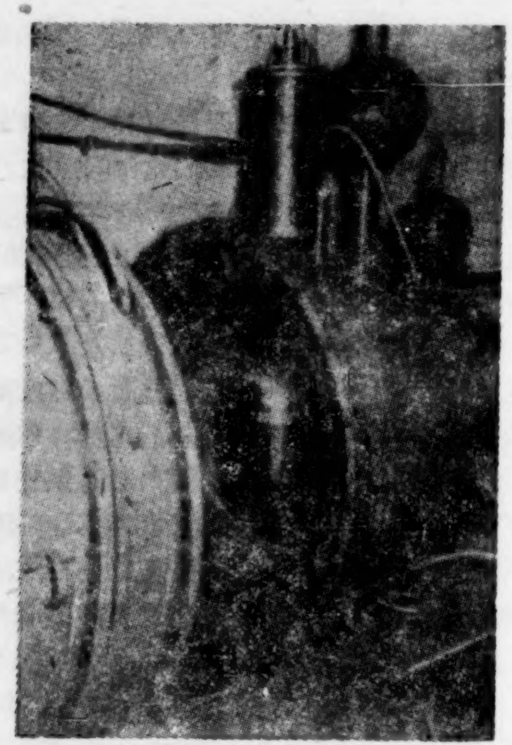


图2 抽气率37000升/秒的氢气冷凝泵(抽空气). 用在接入装置的自給液化器(图上液化器为圆柱形)內制取的液体氢进行冷却.

下，吸附泵經过用液体氮冷却以后，本身內部的眞空达到約 $10^{-7}$ 毫米水銀柱.

这两种眞空泵，不抽未經冷凝的或抽气元件上未吸附的气体.因此，如果系統內进入大量含有这些气体杂质的空气时，眞空装置上应装有抽气量小的扩散泵，扩散泵有时短时間地接通. 冷凝泵內使用液体氦气作为冷却介质，而吸附泵內使用液体氢作为冷却介質时，就不需要附加眞空泵. 在这一方面已經取得了良好的結果.

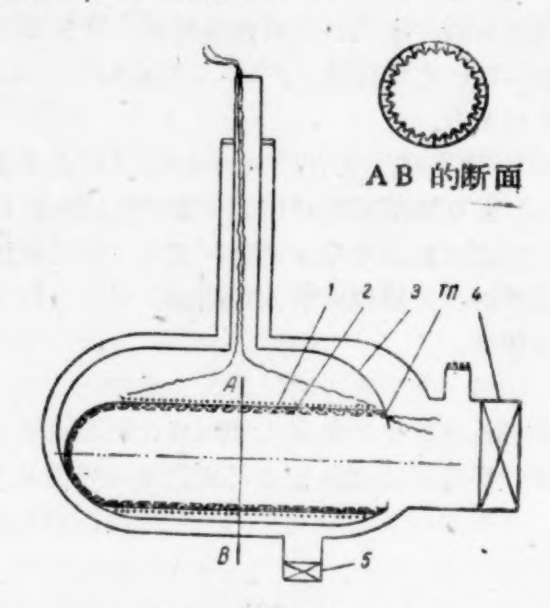



图3 吸附泵的剖面图.

1. 抽气元件; 2. 炭层; 3. 氮冷却器; 4. 抽气装置的閥門; 5. 預先抽气泵的閥門; TП——热电偶. 側面表示抽气元件(組成塡吸附剂的槽的金属网弯曲部分)装置的 AB 剖面图.

这两种泵在加速器装置，眞空金属物理學及其他方面能得到广泛推广. В. П.

# 分离鈾同位素用的磁离子扩张器*

高眞空和平行强磁場內的短电弧乃是引向带負电荷表面的强离子源. 这样，在离子离心机中，当电弧电流为10安培时，离子电流达到500毫安，而当电流为100安培时，等于10安培[1],[2].

各种不同的研究工作者，都曾采用了这种强离子源来分离同位素. 至于使用离子离心机的研究工作早在第二次世界大战末期就已經开始了[1]. 离子离心机乃是一个眞空外売，其中装有电弧放电(弧长0.635厘米)的电极. 屏极由鈾制成，該鈾的同位素必須經过分离. 电弧位于圆柱体內部，电压从屏极送到該圆柱体上. 在电弧和圆柱体之間，在电弧的上下方都装有薄片，送到这些薄片上的电压是負的(从 −20 伏起到大的負値，但不是拉摩大电压 $V_L = -\left(\frac{e}{8mc^2}\right)H^2r^2$).

磁場(达10000高斯)平行于圆柱体軸綫. 在分离过程中，輕同位素浓集在带負电的薄片上，而重同位素浓集在圆柱体上. 关于使用离子离心机最近的研究工作証明，最大浓集非常微小，祇等于

$$c-1=\frac{1}{2}\cdot\frac{\delta m}{m}.$$

式中 $c$——浓集度; $m$——輕同位素質量; $m+\delta m$——重同位素質量[1].

最近几年来，使用所謂磁离子扩张器的研究工作取得了最大的效果. 在磁离子扩张器中，也采用电弧放电作为强离子源(参閱图).

电弧在两个导电側壁間的空間，两側壁上的存在着一定的电位差(在所述的研究工作中，电位差等于7伏). 附加磁場与側壁平行并垂直于图面. 距离 $L_0 \simeq 2.5$ 厘米，$L \gtrsim 60$ 厘米.

分离过程开始时，电子和离子跑向带相反电荷

* 譯自 J. Slepian 的载于 Nucl. Sci. and Engng. 3, 1,108 (1958) 上的 Magneto-Ionic Expander Isotope Separator Applyed to Uranium.

磁离子扩张器

1——負电荷区； 2——总电流； 3——側壁； 4——电弧； 5——正电荷区.

$V_2'-V_1'>V_2-V_1, \frac{V_2-V}{2}=-\frac{1}{c}Hv.$

的壁，并在壁表面附近形成負的和正的空間电荷. 因为空間电荷在某种程度上抵消着电位差，故其等式[1],[2]是这样

$$E=\frac{1}{c}\ [H\times\bar{v}].$$

式中 $v$——离子速度.

在这条件下，离子和电子沿着垂直于磁場和电場(即平行于側壁)的軌跡运动. 扩张器的上部是一列互相絕緣的薄片，离子流就引向这一列薄片上. 薄片間也有一定的电位差. 在带負电荷的壁上，总电流通向扩张器的上部，在带正电荷的壁上，总电流通向扩张器的下部，这样，总电流閉合在容器內部(参見图).

全部效应包含着离子流和电子流的絕热膨胀和它們在絕緣薄片上的浓集. 当离子流中有二个同位素一个質量 $m_1$(輕)和另一个 $m_2$(重)时，它們不仅相互起着作用，而且还和电子起作用. 最后所产生的力引向管子的下部($m_1$)和上部($m_2$). 相应地还产生了水平分速：引向左边的 $\omega_1$ 和引向右边的 $\omega_2$[2],[3]. 这时有关系式：

$$\omega_1-\omega_2=\frac{Lv}{2L_0}\frac{dm}{2m_1},$$

式中 $m_2=m_1+dm$.

$\omega_1$ 值从負电薄片上的0到正电薄片上的 $+\frac{Lv_0}{2L_0}\frac{dm}{2m_1}$ 之間改变，$\omega_2$ 从負电薄片上的 $-\frac{Lv_0}{2L_0}\frac{dm}{2m_1}$ 到正电薄片上的0 [2],[3]之間改变.

这样，輕同位素聚集在左边的負电薄片上，而重的就在右面正薄片上.

当最佳条件时浓集与离电弧的距离平方成正比，它服从于公式[2]：

$$c=2500\frac{dm}{2m_1}.$$

实际上，在一次分离中，几乎是純的 $U^{235}$ 聚集在薄片带負电的一端，而 $U^{238}$ 則聚集在薄片带正电的一端.

作者曾計算过用这种方法所获得的1克 $U^{235}$ 的成本，当电弧电流 $I=100x$ 安培时，它等于 $K\left(\frac{\text{美元}}{\text{克 } U^{235}}\right)=1.00+\frac{7.00}{x}$. 这样，当电流 $I=100$ 安培时，$K=8\ \frac{\text{美元}}{\text{克}U^{235}}$，而当假設电流 $I=1000$ 安培时，成本降低到2美元，差不多比美国原子能委員会1956年所公布的 $U^{235}$ 牌价 $17.07\frac{\text{美元}}{\text{克}U^{235}}$ 低90%.

巴巴耶夫 (Н. С. Бабаев)

## 参考文献


[1] J. Slepian: *J. Appl. Phys.* **26**, 1283(1955).
[2] J. Slepian: *J. Franklin Inst.* **263**, 2, 129(1957).
[3] J. Slepian: *Proc. Nat. Acad. Sci U.S.A.* **41**, 7, 451 (1955).


# 苏联質譜仪

在1958年第3期的“实驗仪表与技术”杂誌上登載了国立分析仪表制造設計局工作人員的文章，其中敍述了苏联質譜仪的制造和生产概况. 206—207頁附表中列出了苏联質譜仪的主要技术規格.

苏联質譜仪的

| 仪表规格 | МИ1301（用作气体和易蒸发物質的同位素組成的分析） | МИ1303（用作气体和液体蒸汽及固体物質的同位素組成的分析） | МИ1305（用作气体，液体蒸汽和固体物質的同位素組成的分析，可代替МИ1301和МИ1303仪表） | МХ1302（用作气体和蒸发物質的同位素和分子組成的分析） | МХ1303（用作气体，液体和固体物質的分子和同位素組成的分析，蒸汽压力，在不高于300°C时，大于0.5毫米水銀柱） |
|---|---|---|---|---|---|
| 質量测量范围 | 2—400 | 1—250 | 1—400 | 1—4; 12—80 | 1—600 |
| 分辨率 | 300 | 300 | 300 | 80 | 400 |
| 离子束中央軌跡半径，毫米 | 200 | 200 | 200 | 100 | 200 |
| 物質同位素組成分析时的相对誤差（与平均值比較），% | | | | | |
| 单射綫测量 | ±1 | ±1 | ±1 | — | — |
| 双射綫测量 | ±0.2 | — | ±0.2 | — | — |
| 分子組成分析的相对誤差（考虑到按物質标准混合物的分度），% | — | — | — | ±2 | ±2 |
| 灵敏度，% | 0.001 | 0.01 | 0.001 | 0.02 | 0.002 |
| 磁場最大強度，э | 7000 | 6000 | — | 5500 | — |
| 加速电压，仟伏 | 2—3 | 3.4和5 | — | 0.8 | 2和4 |
| 测量离子流的最小值，a Ⅰ放大器 | $5\times10^{-14}$ | $5\times10^{-15}$ | $5\times10^{-15}$ | $5\times10^{-14}$ | $5\times10^{-15}$ |
| Ⅱ放大器 | $5\times10^{-15}$ | — | $5\times10^{-15}$ | — | — |
| 离子流放大器的时間常数，秒 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 开动时間，小时 | 2—3 | 2—3 | 2—3 | 2 | — |
| 外形尺寸，毫米 | 2200×1800×900 | 2600×1800×960 | 2600×1800×960 | 1200×850×1800 | — |
| 質量数指示器誤差，ме | — | ±0.4 | — | — | — |
| 游离室及离子源温度稳定性，°C | — | — | — | — | ±1 |
| 分析器小室区域内的工作压力，毫米水銀柱 | — | — | — | — | — |
| 频率，兆周 | | | | | — |
| Ⅰ范围 | — | — | — | — | — |
| Ⅱ范围 | — | — | — | — | — |
| | 国立分析仪表制造設計局生产 | | | | 苏联科学院化学物理研究所和国立分析仪表制造設計局設計 |

* 取决仪表模型

** 考虑到同位素标准混合物的分度

*** 分析物質的最小量

**** 分析組分最小含量

***** 可能膨胀到 250 ме

主要技术規格

| MB 2301<br>(用作气体和易蒸发物质的同位素及分子組成的分析) | MИ 1101<br>(用作鹼性金属同位素組成的快速分析) | MИ1306<br>(用作固体物質微量和微浓度的同位素組成的分析) | MИ 5201<br>(用来在工业企业条件下复杂的气体混合物的各种組分的連續分析及記录) | MX 6401<br>(用作在質量范围 2—60 的气体分子化学組成的分析) | 磁动力学的<br>(用作气体同位素和分子組成分析) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1—100 | 4—40* | 1—400 | 12—56 | 2—8;12—56 | 2—42***** |
| 5000 | 25—40* | 600—700 | 40 | ~45 | 5000 |
| 200 | 100 | 300 | — | — | — |
| — | ±3** | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | ±5 | ±5 | — |
| 0.0005 | — | $\sim 10^{-8}$克***<br>$\sim 10^{-4}$**** | 0.05 | 0.1 | 0.1 |
| 5000 | 1350—2300 | — | — | — | — |
| 2.5和5 | 0.6—1.2 | — | — | 0.08—0.4 | — |
| $5\times10^{-15}$ | — | $\sim 10^{-17}$ | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — |
| 1.5 | — | — | — | — | — |
| 3 | 1 | — | — | — | — |
| 1900×1890×1285 | 860×650×530 | — | 1600×800×600 | — | — |
| — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — |
| — | $5\times10^{-5}$ | — | — | $2\times10^{-5}$ | — |
| | | — | — | $2\times10^{-5}$ | |
| — | — | — | — | 5 | — |
| — | — | — | — | 15 | — |
| 国立分析仪表制造設計局生产 | 苏联科学院工程物理研究所和国立分析仪表制造設計局設計 | 国立分析仪表制造設計局設計 | 苏联科学院和国立分析仪表制造設計局設計 | 苏联科学院西西伯利亚分院和国立分析仪表制造設計局設計 | 苏联科学院工程物理研究所和国立分析仪表制造設計局設計 |

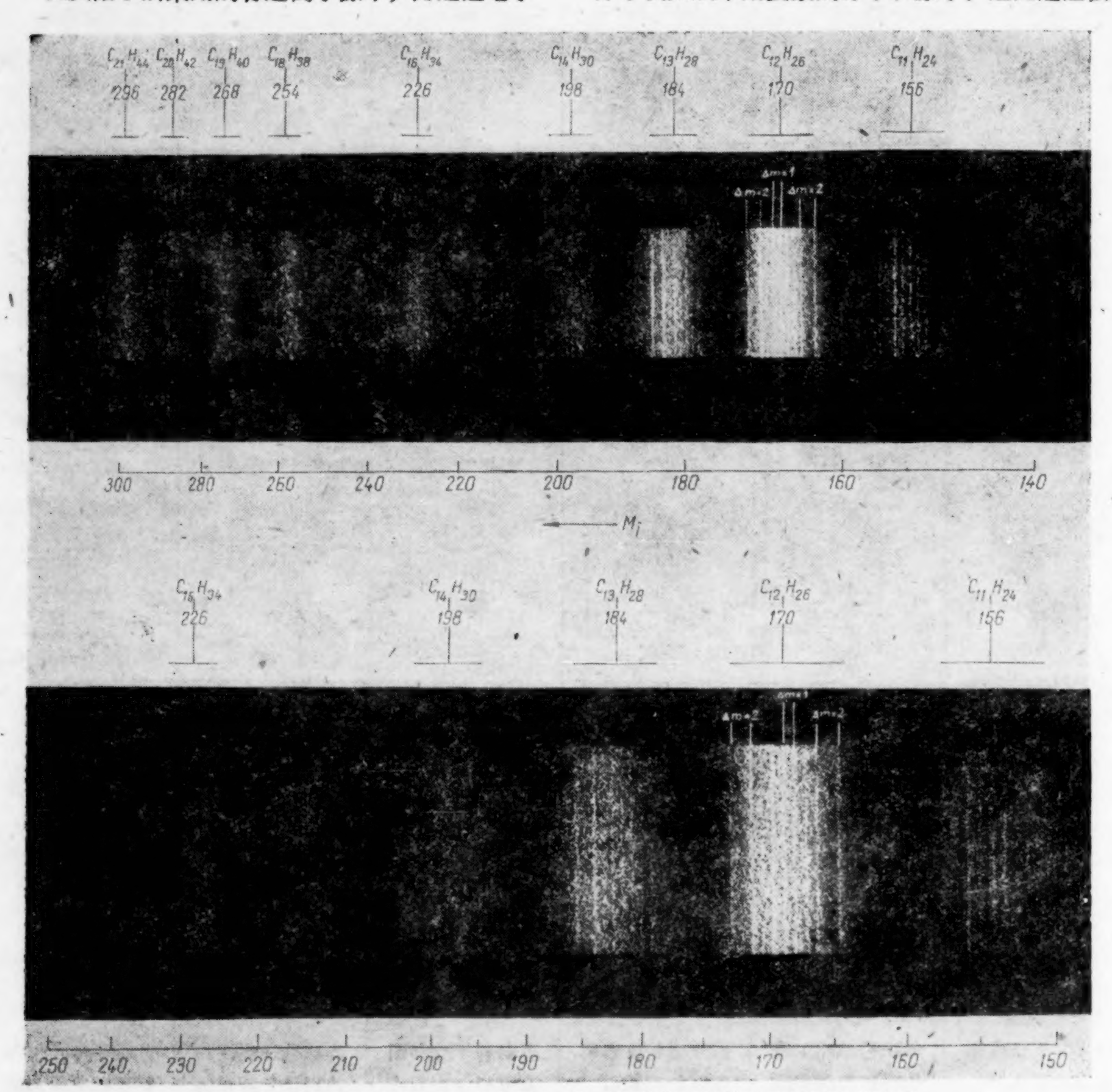
# 德累斯登分子質譜仪

在1958年4月27日于德累斯登召开的德国物理学会的会議上，阿尔登涅（Манфред Фон Арденне）教授介紹了他們制造的分子质譜仪，其主要新的部分是它有一个独特的俘获电子的离子源*.

在质譜学所采用的普通离子源中，是通过电子冲击法来电离被分析的分子，通常有离解作用同时发生．复杂分子在离子源中的衰变会影响分子的分析．

在新的离子源中阿尔登涅教授做到了避免复杂分子衰变成不太复杂的分子和原子．这是通过被研究的气体或物质的蒸汽在低波放电的情况下压縮等离子气体的方法达到的．压縮是用不对称的磁透鏡造成的不均匀磁場来进行的．

經过了十年的研究工作，終于做到了在这种装置中不使分子衰变．而且，尽管分子俘获电子的截




用阿尔登涅教授的德累斯登分子质譜仪所得到的有薄层結构的直綫形石蜡光譜

---

* 1958年9月25日，由于阿尔登涅教授在电視方面的工作成績以及制造了电子显微鏡和分子质譜仪，爱尔达（Э. М. Арндта）大学（格列費利特，德意志民主共和国）授予他自然科学名誉博士的称号．——編者按

面小，負离子的寿命短，但是能得到完全足够的离子束强度。

由于改良离子源的結果，制成了精密分子质譜仪，这种分子质譜仪对研究质量数从 20 到 1000 的分子具有高的分辨率(分子不衰变)。

曾得到了多綫形的石蜡光譜，在光譜上偶然地出現了薄层結构(見图)。

看来新的方法一定会有助于研究有机分子及高分子，并对研究石油化学、燃料、聚合物及分析化学起很大的作用。　庫卡瓦捷(Г. Кукавадзе)

# 放射性同位素在焊接技术上的应用

在烏克兰科学院帕頓 (Е. О. Патон) 电焊研究所中(物理化学方法研究部分)，在研究焊縫結晶过程和某些焊接缺陷的性质(如热裂)以及在自动化焊接过程中，进行了应用放射性同位素检查焊接质量的研究工作。

利用透射的焊縫探伤仪不仅可以在研究所实驗室的固定条件下进行工作，而且可以在野外条件下安装时使用。最初采用的是 ГУП-Со-0.5-1 型带 $Co^{60}$ 安瓿的固定装置。在野外安装条件下，检查焊接时采用容易运輸的小型容器。进行质量检查可以及时发现并消除焊縫的缺陷。最普遍的缺陷是气孔、夹渣、未焊透等等。根据鍋炉检查局現行規章，所有用焊接法制成的儲器、管子、各种容器等均需經过 γ 探伤器的检查。

在該研究所內，研究焊縫的結晶过程和某些缺陷的性质时，广泛采用了碳、硫、磷、钙和其它元素的放射性同位素。用射綫自动照相法所确定的上述元素在焊縫截面上的分布，可以解释在实际中有时观测到的不令人滿意的焊接的物理机械性质。例如，用硫的放射性同位素所确定硫在焊縫金属中的分布特征与热裂有直接关系(图 1)。

通过上述同位素的应用証明，关于焊縫金属在单个晶粒中有很大的化学不均匀性的普遍見解是錯誤的。同时还确定了热裂的性质。

所得的数据可以提出具体的改良焊接的物理机械性质的工艺方法。

在研究所的电气部分內，首先在銲接技术方面制成了調节电渣焊时槽內液面的放射性液面計。用放射性为 3 毫居里的 $Co^{60}$ 放射性同位素作为电离輻射源。

在实驗室检查的情况下，液面計效果良好。

現在在該研究所中正推广应用放射性同位素的工作，并制造了专門的設备(图 2)。将要利用氚进行在焊縫金属中氢分布的研究工作；还研究加入鉬和钙及其它元素的放射性同位素时焊縫变形的性质。



图 1. 硫的放射性同位素在焊接截面上的分布(黑色部分)×120 倍。

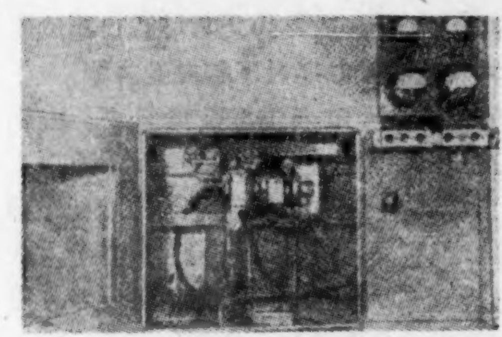


图 2. 采用放射性同位素焊接的通风密封柜中的自动焊接机。

В. П.

# 有关研究发現核爆炸方法的专家会議

根据苏联政府和美国政府所达成的协議，1958年7月1日至8月21日在日內瓦举行了专家会議，研究有关发現破坏停止核試驗协議的方法．

参加会議的一方有苏联、波兰人民共和国、捷克斯洛伐克共和国和罗馬尼亚人民共和国的专家代表团，另一方有美国、大不列顛、法国和加拿大的专家．

以代表团团員身份参加会議的有下列专家：代表西方国家的：菲斯克博士（Джеймс Б. Фиск）、巴海尔博士（Роберт Ф. Бахер）、柯克洛夫脫先生（Джон Коккрофт）、劳侖茲博士（Эрнст О. Лоуренс）、別尼先生（Вильям Пенни）、罗卡尔教授（Ив Андрэ Рокар）、佐兰德博士（О. М. Золанд）；代表苏維埃社会主义共和国联盟方面的：費多罗夫（Е. К. Федоров）、謝緬諾夫（Н. Н. Семенов）、塔姆（И. Е. Тамм）、薩多夫斯基（М. А. Садовский）、列本斯基（О. И. Лейпунский）、巴謝契尼克（И. П. Пасечник）、古布金（К. Е. Губкин）、察拉普金（С. К. Царапкин）；代表波兰人民共和国的：明索維奇（М. Менсович）、尤尔凱維奇（Л. Юркевич）、勃留什坦（М. Блюштайн）；代表捷克斯洛伐克共和国的：希馬涅（Ч. Шимане）、別果烏涅克（Ф. Бегоунек）、扎托別克（А. Затопек）、特勒哥里克（З. Тргглик）；代表罗馬尼亚人民共和国的：胡魯別（Х. Хулубей）．

专家会議研究了发現和証实核爆炸的基本方法，并研究了发現破坏停止核試驗协議的监督制度問題，并就这些問題通过了相应的决議．

1958年8月21日专家会議通过了总結报告，并对可使用各种方法发現和証实核爆炸以及对遵守停止核試驗协議的监督制度作了結論和建議．

通过报告后，联合国总秘书长的个人代表那拉揚南（Т. Г. Нараянан）宣讀了联合国总秘书长哈馬舍尔德写給会議参加者的信．

信中說：监督停止核武器試驗是現在联合国面临的裁軍問題的一个重要方面．順利地解决有关发現核試驗的問題是对裁軍問題一大貢献．今后各有关政府和联合国应該継續做专家会議已奠下基础的工作．哈馬舍尔德希望在不久的将来，各国能采取必要的步驟以达到这个問題的合理解决．

信中强調，会議获得成就的原因是大家在互相尊重的基础上有忍让的态度，一方願意了解另一方的观点并以客观的科学态度来对待会議所担負的任务．

在有新聞界代表出席的公开会議上，菲斯克博士代表西方国家的专家，苏联代表团团长苏联科学院通訊院士費多罗夫代表苏联、波兰、捷克斯洛伐克和罗馬尼亚的专家发表了最后声明．

会議的任务是要在发現和証实核爆炸的技术問題上取得共同見解，菲斯克博士对会議胜利地完成这个任务表示满意．詳細研究和闡述了用各种現代方法发現核爆炸的可能性和限制的报告，在面临討論这个重要的問題时，将对各国政府有所帮助．

专家們試图証明这些事实，并从中得出关于监督制度的健全和合理結論．会上听取的报告有助于了解和批判性的討論所要研究的問題的科学根据．在每一部分的共同总結內以及在总結报告中都反映了要为各国政府提供科学事实的意图和在监督制度問題上达成协議的强烈願望．菲斯克代表西方国家的代表特别对会議过程中的友好合作关系表示满意．

菲斯克博士最后对联合国总秘书长的个人代表那拉揚南先生以及联合国秘书处的工作人員表示感謝．

費多罗夫在最后发言中指出：制止战爭和維护世界的巩固和持久和平是目前最主要的問題．完全停止核武器試驗，将对解决这一問題作出一定的有益的貢献．

大家知道，由于苏联停止了核武器的試驗，对发現核爆炸的可能性沒有作过任何研究．

根据西方国家对解决完全停止試驗及从技术上解决发現核爆炸可能性的願望，苏联政府和捷克斯洛伐克，波兰和罗馬尼亚政府指派了自己的专家和西方国家专家来共同研究发現核爆炸和建立相应的监督制度的問題．

研究这些問題时，討論了很多的科学技术問題．

在研究某种方法效率和限制时經常发生持久爭論，但最后都取得了一致的意見．互相了解和合作的精神是大会自始至終专家們共同工作的特点．

这次大会的結論非常簡单而又明确：即核爆炸，其中包括小威力的爆炸，是可以发現的，而建立有效

的监督制度，以监督完全停止核武器試驗协議的遵守情况是完全可能的，而且不是非常复杂的問題。

然后，費多罗夫指出，专家会議上所不能研究的道义上和社会方面的因素，也指出了大多数人类制止原子战爭和支持一切为了达到这个目的事情的决心，并且表示相信不会有任何一个担負着停止核武器試驗义务的政府会面向破坏这个协議并向全世界挑衅的途径。

在苏联代表团所收到的由世界許多国家中的不同职业、不同社会地位和不同年龄的人們寄来信中都包含着一个坚定不移的共同願望：希望专家們的工作能使将来不再会有核武器的試驗，不再有战爭。苏联专家的工作在解决这个全人类所关心的重大問題上已作了一定的貢献。

最后，費多罗夫代表苏联、波兰、捷克斯洛伐克和罗馬尼亚的专家代表团对瑞士政府及日內瓦州和日內瓦市的当局的殷勤招待和关怀表示感謝。費多罗夫还感謝了联合国欧洲部負責人斯比涅尔先生(Спинелль)、联合国总秘书处代表那拉揚南先生和負責大会技术机构的工作人員。

联合国欧洲部負責人斯比涅尔先生向大会参加者致詞。他祝賀专家胜利地完成工作，并且指出：由于专家們的努力，现在全世界都知道了，对核試驗可以进行国际监督。他强調，怀有达成协議願望的、明确自己对全人类所負責任的人們可以找到解决本来是复杂而又困难的問題的根据。斯比涅尔希望"这次会議上专家們所遵循的精神，将会鼓舞一切可能为世界和平和安全的事业作出貢献的人們"。

下面发表日內瓦专家会議报告的全文。

# 日內瓦专家会議的报告

## (会議的宗旨是研究在停止試驗核武器方面可能达成协議后怎样来发現破坏协議的方法)

### I. 前 言

A. 苏維埃社会主义共和国联盟部长会議主席尼·謝·赫魯曉夫与美利坚合众国总統都埃特·德·艾森豪威尔之間交換了有关召开专家会議的信件，并达成了协議，根据信件中所达成的协議，于1958年7月1日在日內瓦联合国大廈举行了以西方国家的专家为一方，以苏联、波兰人民共和国、捷克斯洛伐克共和国及罗馬尼亚人民共和国的专家为另一方的会議。在这个专家会議上对在停止試驗核武器方面，可能取得协議后，怎样来发現破坏协議的方法进行了研究。

B. 作为联合国大会秘书长私人代表出席会議的是特·格·那拉揚南。联合国大会保証了会議进行工作的条件并提交了自己的秘书处为会議服务。

专家們对秘书长及其私人代表所給予的殷勤协助以及对为会議服务的秘书处人員所完成的工作表示感謝。

C. 列于7月4日所通过的会議日程內有下列几个主要問題：

1. 对各种发現原子爆炸的方法問題和其它有关会議內容的一般性問題交換意見。
2. 确定系統观测爆炸征象的主要类別表。
3. 遵守停止核試驗协議的监督制度。
4. 专家們对出席会議的各国政府提出报告，并对遵守停止核試驗协議的监督制度作了結論和建議。

D. 会議正式进行了30次，并于1958年8月21日結束。根据事先协商結果，各次会議所商談內容都是秘密的。

E. 专家会議研究了在不同条件下发生原子爆炸的各种現象。

F. 其中某些現象，具体說是空气中或水中爆炸时的声波，地上爆炸、地下和水下爆炸时的地震，大气中爆炸时的无綫电脉冲、光和$\gamma$輻射，当它們传佈很远时就成为爆炸征兆，从而可以估計它們的地点与时間。

G. 大气中核爆炸时所形成的放射性产物在大气中互相混合并散布很广。若核爆炸是在海洋里和地壳內进行，則放射性产物将会在相当长的时間內集中在爆炸地点附近。

H. 近代物理、化学和地球物理的測量方法的灵敏性可以按上述的征兆发覺远距离的核爆炸，这一

点将在下面說明．大家都知道地表面上和大气层下部所发生的大功率爆炸可以毫不困难地在地球上距离爆炸点最远的地方发觉．另一方面，小功率的爆炸(数仟吨)在目前的探測技术水平下也能十分可靠地发現，但須专門建立本报告中第IV节中提出的监督制度．

I. 发現和証实小型爆炸时的主要困难是在于很多自然現象(地震、雷雨等)形成一些征象，这些征象与爆炸引起的相似，或者該征象的出現妨碍了所要探查的征象的发現．

J. 根据某几点上得到的指示詳細进行分析記录材料就可以把自然現象的預兆与爆炸預兆区分开来．对那些未被証实的、仅能推想为核爆炸的現象，只有到当地去視察辨明．

K. 专家会議研究了在空气中、水中和地壳中由爆炸所形成的声波，水声波响和地震波来发現核爆炸的方法，同时也提出了根据核爆炸所传播的电磁波与爆炸所形成的放射性产物来发現核爆炸．

L. 会議研究了发現核爆炸的每一种方法的可能性与局限性，并确定同时采用各种方法会大大地有助于发現与証实核爆炸的工作．

M. 在各个方法討論結束后，会議研究了有关发現和証实核爆炸所必需的监督制度技术設备問題，接着就討論了全部监督制度的問題．

N. 对上述問題研究后，会議就作出如下的結論：为了全面体現本报告第IV节所指明的可能性与局限性而建立强有力的有效监督制度，以便发現对全世界各地停止核武器試驗的协議的破坏，在技术上是能够实現的．

O. 本报告所列举的一些材料是有关发現和証实核爆炸的各种方法，有关监督制度的技术設备和有关全部监督制度的事項．为会議所通过的、包括对每一个所提出的問題之决議的个别文件作为本报告的附录．用会議上所規定的文字写成的协議书和工作文件在拟定好之后即指定作为本报告的附件．

## II. 发現与証实核爆炸的主要方法

### A. 关于使用声波記录方法来发現核爆炸的决議

专家会議研究了被核爆炸所激起的声波传播过程和这些声波的記录方法，以便确定利用它們发現核爆炸的可能性．

1. 在空气中爆炸时形成了远距离传播的强力的空气声波．关于压力的空气波振幅的概念有一个公式，它对均勻的大气来說几乎都是正确的，根据这个公式，这种振幅与爆炸功率的立方根成正比而与距离成反比．但是，声波的振幅和气象条件有极大的关系，并且不能用这种类型的簡单公式精确地預測出来．在个别情况下所观察的振幅可能比只考虑爆炸能与到記录站的距离的公式所指出的大4倍，或者小4/5．

2. 現有的专門仪器在比較大的距离內及当地声扰本底条件下，可以发現空气中1仟吨爆炸的空气波．

一个記录站所能观測的距离范围与站和爆炸点的方位和对上风向的爆炸有很大的关系．当上风占主导时，威力1仟吨的爆炸順风在2000到3000公里的距离、逆风則在500公里的距离可以非常可靠地被观測到，若当上风不固定，中风又不大时，这种情况大多发生在春天和秋天，不考虑风向同样能够很可靠地发現在大約1300公里距离內的爆炸．根据三个站的記录，所測之爆炸地点的誤差小于100公里．

3. 监督站的声学仪器能够在規定的距离內发現地表面与大气中高度30公里以下所发生之爆炸．根据实驗材料合理的推断，可以了解50公里高度以下的爆炸其声波的可发覺性是不应該有多大的变化．会不会在更高的高度上发生巨大的声波这一問題，无論由直接的試驗中，和由到目前为止的各种理論研究中都未得到确切的答案．在地下深处和深水中发生的爆炸不形成其强度足以发現这些爆炸的空气波．

海洋中的水下爆炸造成非常强烈的水声波，它甚至在爆炸不很大时都能在大約10000公里的距离內发覺．

4. 在某些情况下，类似核爆炸的声信号的声波也可以来自自然現象(主要是气象、火山及水下的各种扰动)．在这些情况下来确定发生的是自然現象还是核爆炸，应該将声学資料与其它方法获得的資料相对照而进行．

5. 应指出压力波的記录方法在今后可以提高其精确度及灵敏度，并消除干扰和假信号从而使其臻于完善．

### B. 利用放射性产物的方法来发現并从而証实核爆炸的决議

专家会議研究了核爆炸时所产生的放射性产物的传布过程，放射性产物样品的吸收及放射性产物样品的分析，从而把上述工作也作为发現和証实核爆炸方法中的一种．

1. 爆炸时释放出大量放射性产物．若爆炸系来自裂变反应，則相当于每1仟吨三硝基甲苯的爆

炸威力，在反应发生后一小时的状态下，产物数量为 $3\times10^8$ 居里．热核反应可以形成碳 14，氚和其它由于中子照射而形成的放射性物质，原则上都可利用这些放射性物質来发現爆炸．

2．当核爆炸发生在地表面和約 10 公里以內的高处时放射性产物排入大气中，在大气中它就被风吹送到很远之处．对流大气层中的和同溫层的下层中的垂直和水平风向对这些放射性产物的浓度有很大的影响．同样浓度也受雨水冲洗和地心吸引力的沉降而减弱．

3．大气中携带的放射性产物在不同高度的分布，首先和爆炸功率及产生爆炸的条件有关（即地上、地下或空中），同时也和爆炸时的气象条件有关．在空气中发生小威力爆炸时（在大約 10 公里的高度以內），放射性产物开始集积在对流层下的不大容积之內．这些产物經过 1 到 30 天的时間在对流层內向水平方向和垂直方向散布（与带有放射性物质的大气湍流、风的构成和粒子大小有关），正如它們在不同高度直至对流层頂面能够被发現一样，在靠近地表面处它們同样也能被发現．

4．大气中放射性云的散布决定于很多气象因素．这些因素的作用結果，云一定达到这种程度，即它們沿垂直方向攪勻，在水平方向散开，这时取样最为方便．

計算与实驗数据給出一些根据認为上述情况在云存在的 5 到 20 天之間的时期內才可以达到．在这个时期以前，沿水平方向与垂直方向的云可能是很小的．經过 30 天，大量的放射性产物衰变，样品会吸收少量来自自然本底或其它本底的物质，从而使爆炸的发現与証实遇到困难．

5．現有的放射化学技术可以帮助人們发現与証实在含有 $10^8$ 次分裂的放射性产物样品中之新的衰变产物．若样品約含有 $10^{10}$ 次分裂并且未显著地受旧裂变产物的沾污，发生这些新产物的时間可以确定在它們年龄的 5 到 10% 范围內．

6．利用监督站网在地面上取样品使人們能够对很多单独点的空气沾染进行不間断的检查，所采取的方法有空气过滤，收集放射性沉降物及雨水沉淀．若监督站設在 2000—3000 公里的距离上，则对流层（距地表面 0—10 公里）內发生的功率 1 仟吨的爆炸在 5—20 天的时期內可以很可靠地发現到，尽管在此种情况下爆炸地点不能精确的测定，而爆炸时間是可以确定的（带一定誤差）．这样計算表明在良好的气象条件下同样可以发現小威力的爆炸．

威力为 1 仟吨的爆炸发生后，在 2 到 5 天的期間內，可以从爆炸中获取足够的进行分析用的放射性产物样品，若大概能推测出的云的所在区域，可以用飞机到該处上空取样．获取这类样品使人們可以利用气象材料反过来测定云的运动軌道以便大体上确定爆炸地点．

7．同时引起泥土和水噴射的、在不深的地下或水下爆炸，也可用采集放射性样品的方法来証实此种爆炸；但是测定可靠性比对流层中同等威力爆炸的测定可靠性要小一些．

8．专家会議認为系統地测定空气中放射性物质的含量，收集沉降在陸地上的放射性微尘及测量天然沉降物的放射性都能成功地用来发現核爆炸，在很多情况下，即使缺乏其它指示材料，也可以很好的利用它們的某些参数进行估計．

作为监督工作中的发現核爆炸的方法是用飞机到海洋上空取样的办法来发現核爆炸．为了达到此目的，应利用各国現行的为了进行气象观测所作的海上飞行．

9．专家会議認为，在具有以其它方法获得适当的指示的条件下，对核爆炸事实的系統检查同样也可以采取放射性产物取样的办法．

为此，可以利用預計爆炸处之剩下的放射性产物的观测（地表面、地下、水中），以及在大气中，根据計算得知检查前发生的云的区域內爆炸后的 2—5 天时間中放射性云的测定方法．

在这种情况下可以用具有放射性产物取样設备的飞机来探尋放射性云．为此，应該主要依靠用飞机在海洋上空进行气象观测的飞行活动．

10．在某些情况下，飞机可以在美国、苏联、大不列顛和其它国家的領土上空飞行摄取样品，目的是为了核对用其它发現核爆炸的方法所获得的材料．

专家們認为，为了实現此任务，要在那个国家上空飞行取样，用該国的飞机来进行就足够了，在这种情况下，飞行須有指定的目标并按預定的航綫进行．苏联、美国、大不列顛和参加检查活动的其它国家的代表以观察員身分可以坐在这些飞机的左侧．

11．专家們指出放射性产物取样方法的灵敏性与效力会随时提高的，这是因为清除大气中的放射性产物所致，也是取样和分析样品的技术日臻完善的結果．

### C．利用記录地震波的方法来发現核爆炸的决議

会議研究了核爆炸所激起的地震波的传布过程，及記录这种波的方法，以确定使用它們发現地下与水下核爆炸的可能性．

1. 地下或水下发出核爆炸时会形成远距离传布的縱向波，横向波和表面波。对发現爆炸和确定爆炸地点以及区别地震与爆炸来講，第一个縱向波是最主要的。横向波与表面波也能有助于确定地震扰动的性質。

2. 地下核爆炸所引起的縱向地震波，其产生的条件与萊茵尔(Рейнер)*爆炸发生的过程相似，它們是能够被发現的，縱向波的第一移动方向大約可在1000公里处确定下来，在大約2000—3500公里处也可以被确定出来，但当地的本底程度应大大低于下面所列举的平均值：

a) 在良好的噪音条件下能記录約1仟吨爆炸的本底級；

b) 在不良的噪音条件下能記录約5仟吨爆炸的本底級。

应指出，在同一时間內相距几千公里的各地震站不能掌握一样高或一样低的噪音程度。

3. 发現与証实在浅水中(但仍有相当大的深度)的爆炸要比发現地下爆炸具有較优越的条件。

4. 担任地震观测的检查站应該設在微地震本底級最低的地方，这种地方可以在內陸区域找得到。这些备有成套地震仪器的站可以保証蒐集上述的資料。但是位于象临水区和島屿区之类条件不好的地区的站，其噪音級将会比位于內陸区安靜的站的噪音級高得多。在这种情况下，为了发現和确定第一个移动的征象，爆炸功率的增长与噪音級增长的比率应为3/2。这一点可以一部分以下事实所补償，即安靜的內陸站能記录在2000到3500公里距离上的最强的爆炸。此时，威力为5仟吨或更强一些的爆炸会被位于上述距离上的安靜的地震观测站观测到。

5. 若縱向波內第一移动的方向能够准确地被5个或更多的位于不同的震源方位角上的地震观測站記录下来，則可以把大部分地震非常可靠地和爆炸区别开来。用这种方法就可以証实发生在大陸上的不少于90%的全部地震。剩下的10%或更少一些的地震能够在它們可能发生的地方用附加的地震仪器測定出来；为此，也应該利用現有的地震观測站网所取得的資料。如果合乎要求，这些輔助站应該用完善的仪器装备起来。对非地震区域来說，仅仅确定震源位置就可以了。在这种情况下，地震現象的发現可以作一个疑問，并需要用其它方法进行更深入的研究。对那些确定不了的現象，应进行实地調查。

在地震观測站不可能平均分布在安靜环境中的区域內，地震的准确測定比率会降低。

用現代方法根据几个四周围的地震观測站对震源所在地进行估計，大約为100—200千伏·公里。

6. 应指出，地下核爆炸的証实及記录的准确性和距离可以用改善地震波記录的方法来提高，例如改善仪器，改善区别地震和爆炸的方法。

### D. 用記录无線电信号的方法发現核爆炸的决議

专家会議研究了在核爆炸时所形成的无綫电脈冲的产生与传播及該种信号的記录方法，目的是为了确定利用它們来发現核爆炸的可能性。

1. 当大气中发生核爆炸时会发生强大的电磁輻射(无綫电信号)，产生的原因是由于爆炸时放出了$\gamma$射綫。在地下、水中或特殊屏蔽的情况下进行爆炸时并不产生可以在远距离用現代技术設备記录下来的无綫电輻射。

在地表面(水)或地下以及在沒有专門吸收$\gamma$射綫的隔层的情况下进行爆炸，无綫电信号的能量及能譜分布是这样的：它的主要成分传遍全地球。无綫电信号的强度和炸弹的某些結构特点及爆炸的高度有关。

能量1仟吨的爆炸，根据它在超出6000公里距离以上所形成的无綫电信号，假定接收站的所在地沒有为当地雷电或其它干扰来源所形成的高級噪音，即可被发覚出来。

用无綫电測向的方法能够測定信号源的方向，其精确度为2°左右，即在每1000公里內可測准30公里左右。信号发生的时間也可以确定，精确度达数毫秒。获得这样的精确度与选择相当平坦的地置以及接收站所在地沒有干扰有关。

2. 閃电也能在同样頻率波段內放出无綫电信号，并是根据无綫电信号发現核爆炸的方法的干扰。

根据目前現有的資料，在靠近輻射源的地方，来自閃电的无綫电信号与来自核爆炸的无綫电信号实际是有差别的。但1千公里以上的距离，由于无綫电信号在大地——电离层中发生变形，来自某些个別閃电的无綫电信号与来自核爆炸的信号相似。来自閃电的信号数目可用仪器記录，勿須采取专門的信号选择技术，該信号数的記录和仪器的灵敏度及地点有关，閃电信号每秒可达10到数百个。現有的技术自动地可以使人們在研究中不考虑大量的来自閃电的信号。区别核爆炸信号与大气天电中其它信

* 威力为1.7仟吨的地下萊茵尔(Рейнер)核爆炸(涅瓦特州)是在传能于土壤中的不良条件下进行的。但是也可能还有比这更不良好的传能条件。

号，可采用专門的識别方法，包括信号形式标准，能譜分布及到輻射源的距离．就区别信号的現代技术成就来說，在某些个别情况下，还不能区别开是核爆炸的信号記录还是閃电的信号記录．

3．专家会議建議开展进一步的研究，目的是联系有关区别核爆炸信号与大气天电信号的問題，全部了解大气天电的物理性质，方法是发展这个問題的理論，蒐集和系統整理关于大气天电的資料并研究改进相应的自动仪表．会議認为改善区别信号的工作是有极大的可能性的．

4．理論研究指出，无綫电信号的記录可以发現在高度約达1000公里的核爆炸．

### E. 发現地面上很大高度处（超过30—50公里）核爆炸的方法之决議

专家会議从理論上討論了核爆炸时所产生的$\gamma$射綫及中子，从人造卫星得来的記录情况，以及高空爆炸时（高度超过30—50公里）产生的发光現象及大气上层空气的游离，最后作出以下結論：

1．威力1仟吨的核爆炸在爆炸源內形成裂变产物的$\gamma$射綫、随反应而产生的$\gamma$射綫及中子．随反应而产生的$\gamma$射綫数以及中子数都与設备結构及其周围的材料有关．这些因素看来对裂变产物的$\gamma$射綫并无重大影响．在眞空状态下$10^4$公里的距离上一千吨爆炸可获得下列的輻射：

а）$10^4$量子/厘米$^2$的裂变产物的$\gamma$射綫（一秒钟）；

б）随$10^2$量子/厘米$^2$反应而产生的$\gamma$射綫（約为$10^{-7}$）*；

в）$10^4$中子/厘米$^2$中子（数秒）．

人造卫星軌道的高度上的宇宙射綫本底，目前已在数量、性质及粒子的能量方面进行研究，但根据初步資料可以認为用記录随核反应而产生的$\gamma$射綫的方法（若不考虑屏蔽問題）以及記录裂变产物的$\gamma$射綫和中子的方法都能够用卫星发現爆炸．当波記录下来的既有瞬发$\gamma$射綫又有中子的时候，就可以取得某些有关爆炸地点距离的概念．核爆炸的$\gamma$射綫記录可以使人們发現距地面几十万公里的宇宙空間的爆炸．估計发現距离的限度需要明确关于在卫星軌道的高度上宇宙綫本底的数值資料．在30—50公里或更高的高度上及在数千公里的卫星軌道的高度上进行爆炸时，上部大气层中$\gamma$量子的吸收可以忽略不計．

专家会議認为利用装备有适当的仪表的卫星来記录$\gamma$輻射及中子以便确定核爆炸是有可能的．

2．在很大的高度上进行爆炸，在倫琴射綫及設备結构物质的快原子的作用下，爆炸点上发火，而在大气上层发光．在天气清朗的夜晚，用普通的仪器，在白天，用灵敏度較高的仪器，从地面就可以观察到发光的現象．在多云的天气，从地面观测站观察发光現象看来是非常困难的．

核爆炸所产生的輻射，在大气上层里形成昇高游离区，根据宇宙无綫电信号的被吸收或无綫电波传播中的变異就可以发現它．

由于游离层現象而发生的宇宙无綫电輻射的被吸收，还未能很好的了解，因而不能确定这种与核爆炸所引起的現象相似的自然現象的数量．

专家会議認为，利用适当的无綫电仪器来記录离子层現象与发光現象以便发現高空的核爆炸是有可能的．

3．专家会議沒有研究发現可能发生在离地球几百万公里的宇宙空間的核爆炸問題．

* * *

F．会議建議，在各监督站网的帮助之下，把这些方法中的前四种列入发現核爆炸的主要方法之內，并認为利用节 II E 中第1和第2点所提出的某些方法来发現大高度上的核爆炸是有可能的．

## III．关于发現与証实核爆炸的检查制度的技术設备問題的决議

专家会議研究了有关发現与証实核爆炸的检查站网的技术設备問題，并得出以下結論：

1．大陆上的监督站网，照例应装备用声学和地震方法以及記录无綫电信号和蒐集放射性产物的方法发現爆炸的仪器．

2．位于海島上和靠近海岸的某些站，除使用上述的方法外还应該装备发現爆炸的水声学仪器．

3．若监督站設在海洋上指定区域停浮的船只上，则应該装备用收集放射性产物的方法和水声学的方法发現爆炸所需要的仪器．如果相应的仪器已制好，但上述两种方法——特别是声学方法——比在大陆上效果減低很多时，則在船舶上同样可以利用記录无綫电信号的方法和声学的方法．

4．装在监督站网的仪器应該标准統一，并要合乎下列的主要技术要求：

### A．地震仪器

监督站的地震仪器应包括：

---

* 爆炸装置的专門屏蔽能够在极大范围内減弱随反应产生的$\gamma$輻射，但不能減弱裂变产物的輻射．只是利用这类屏蔽时，要求爆炸装置的总重增加数倍．

1）大約 10 个短週期纵向地震仪，它們分布在 1.5—3 公里上，并用电纜把它和記录系統联結起来．地震仪在 1 赫芝頻率上应具有約 $10^6$ 的最高放大率和足够的复制地震信号的特殊形式的通带；

2）2 个水平地震仪，其参数如第 1 点所示；

3）一个長週期地震仪的三組裝置，它具有寬通带和週期范围約 1—10 秒內 $10^3$—$2\times10^3$ 的固定放大率；

4）一个地震仪的三組裝置，带有窄通带，在 $T=2$—2.5 秒时，其放大級为 $3\times10^4$；

5）在某些监督站上安裝一个長週期地震仪的三組裝置，在週期 $T=25$ 秒时其放大級为 $10^4$—$2\times10^4$；

6）获得地震信号精确記录所必需的輔助設备，記录裝置，精确时計，供电机組，接收准确时間的自动无綫电信号仪器．

地震仪器应設在微地震本底最小的地方，基岩产区（若該处能設置的話），工业区除外．地震仪应該分別安在深度的房間中．

安裝地震仪所必須的面积应該約为 3 公里×3 公里．

### B. 声学仪器

1）在监督站的一套可听頻率以下的仪器当中，应包括不少于三套微气压記录器站的設备，其中每一套应該有：干扰渦流的中和裝置，压力传送器，传送綫路，相应的电子放大器和自动記录仪表．

2）微气压記录器站的灵敏度应在振幅为 0.1 达因/厘米$^2$的 0.5—40 秒的週期范围內保証声信号的記录．

3）微气压記录站的压力传送器相互之間的距离約为 10 公里，这样适于确定声信号的方向及其传播速度．

4）建議仅仅在海洋区域使用的水声学仪器应該包括几个裝置在主要水下声道中的水中信号器．

水中信号器应該用电纜与岸上的記录站联結起来．水声符号的記录是利用几个与 1 赫芝到数千赫芝的全頻率波段相重迭的頻率分波段来进行的．

可听頻率以下的仪器进行工作的地点，最好有强度不大的地面风，或者是布滿树林与灌木丛的平原．

### C. 无綫电信号記录仪器

无綫电信号記录仪器包括：

1）框形无綫电測向器，或带有相距 4—5 公里的垂直天綫的无綫电測向器，其頻率范围为 10—15 千赫芝，可以接收場强度在 2 毫伏/米以下的信号；

2）保証場强度等于或大于 10 毫伏/米时 500 赫芝—200 千赫芝范围內无綫电脈冲形式記录的信号形式記录器；

3）根据核爆炸的形式，譜密度及振幅分析核爆炸电磁性質的自动选择裝置，以及表示頻率范围 6—100 千赫芝的光譜分析器．

在进一步区別核爆炸信号与閃电信号时，虽然現有的技术能够把絕大多数的閃电信号选择出来，但仍需要补充声学的、地震的及发現核爆炸的其它主要方法的資料；

4）必要的測量与輔助仪器，供电电源及定时接收无綫电信号的工具．

記录无綫电脈冲的天綫和仪器应該布置在平原或丘陵地带，并应与电干扰源，輸电及通訊綫路相隔絕．在天綫四周半径約 300 米的地方应該是空曠之地．

### D. 收集与分析放射性产物的仪器

在收集与分析放射性产物的仪器中应包括：

1）昼夜工作的，过滤能力每 10—24 小时为 $2\times10^4$ 立方米空气的大型过滤裝置；

2）收集放射性沉淀物的設备——面积为 100 平方米的平板．在干燥的天气，平板可以浸湿，以便蒐集干燥的沉淀；

3）普通放射性化学分析实驗室．

仪器应設置在空曠地区，最好是在經常有放射性沉淀的区域內的高地上．仪器不应設在四周屏蔽的山谷里或靠近具有自然本底高的区域．

### E. 安裝在飞机上的发現放射性云及收集放射性产物的仪器

1）飞机上的过滤裝置应該保証在大約每小时 3500 立方米的过滤速度下收集最大数量的衰变放射性产物．

2）用于收集放射性产物的飞机应該具有相应快速地确定新放射性产物存在的設备．

3）在每一个經常进行收集样品飞行的基地上应設有規模不大的放射化学实驗室．

4）在海洋上空飞行的飞机应尽量靠北—南方向，接近主要的大陸边界，在离大陸远的海洋中央．

5）监督站的全部仪器应保証可靠的不間断的使用．

6）为了不断提高发現与証实核爆炸的效率，应該积极、迅速地以完善的仪器及其使用方法来发展与充实检查制度。

## IV．关于在停止試驗核武器方面可能达成协議后发現破坏协議之监督制度的决議

专家会議研究完了发現破坏停止核試驗可能达成协議之监督制度后，作出了决議，目前发現核爆炸的方法，例如：放射性产物的取样方法、地震波、声波及水声波記录法，以及无綫电信号法，此外，遇有可疑的不能确定的核爆炸現象則进行現場視察，这些都能发現与証实核爆炸，包括低威力爆炸（1—5千吨）。因此，会議作出决議，認为根据下述的可能性与局限性，成立发現破坏在全世界停止核武器試驗的协議的强有力的而又有效的监督制度，从技术上来說是可以实现的。

专家会議关于这个制度作出以下結論：

1．监督制度应受国际监督組織領导，同时該組織以下列方法保証并协助监督制度实現；满足下面的技术要求并发揮有关的职能：

a）制造試驗和接收用于监督站网的各种测量仪器和設备，并确定选择监督站地置的界限；

b）在监督点中和本决議中的第3和第5点所提到的飞机上进行能够利用会議建議方法以观測核爆炸，积极不断地观察各种現象；

c）在国际监督組織一方与监督点及进行經常飞行的飞机基地一方之間建立可靠的联系，可以利用便于达到这个目的的地方上所設置的工具；通訊与交通工作应保証迅速地运送观察結果，資料（包括样品），报告和必需的供应；

d）对监督站的工作人員，按其职責配备交通工具，并对国际监督組織的工作人員按需要配备交通工具；

e）对监督站所提供之观察資料的及时的分析研究要按以下的精神来进行，即：迅速地証实那些可怀疑的类似核爆炸的現象，并且按照各国政府認为适当的方法来进行宣布；

f）对可怀疑的类似核爆炸的不能确定之現象进行及时的当地視察要符合本决議的第6点；

g）监督制度（陸地上、船舶上及飞机上的监督站网，以及国际监督机构中的組成人員）配备具有熟練的适当专业人員；

h）在实現科学研究計划方面給予帮助，以达到提高检査制度的科学水平。

2．监督站网的特点应具备下列三个重要参数：

a）小威力核爆炸的，与发出相等信号的自然現象的参数；

b）监督站的数目参数；

c）正确地証实自然現象，特別是地震的可能性参数。

这些参数之間的关系如下：爆炸威力增大或监督站增多，发現与証实的可能性就会增大，而不能确定的、可怀疑为核爆炸的数量就相应減少。从另一方面来說，在減少监督站数量的条件下要証实增多的不定确定的現象，只有增加实地視察的数目，或者充分利用不属于国际监督組織管轄的現象发源地送来的資料，或者，在必要时，上述两种方法都要利用。

会議認为发現与証实地下核爆炸的任务是最艰巨的，这項任务的特点在很大程度上决定了监督站网。

3．监督站网包括160个到170个地面监督站（其設备符合本报告第III节所叙述的）和約10艘的船舶。在160—170个监督站中，約有100—110个設在大陸上，20个設在海洋中大的島屿上，40个設在海洋中不大的島屿上，但在上述范围內，监督点的准确数目，只能在考虑它們的所在地的干扰及其它各种环境以便拟定它們在地球上的具体分布的过程中才能确定。

大陸上非地震区域的监督站之間的距离約为1700公里，在地震区域里約为1000公里。海洋区域的监督点之間的距离大約为2000公里至3500公里以上，同时在地震区域中島屿监督点之間的距离約为1000公里。由此可得出监督站在地球上的下述概略分布（包括110个大陸监督站的监督网）：北美—24，欧洲—6，亚洲—37，澳洲—7，南美—16，非洲—16，南极—4，其中60个监督点設在島屿上，将近10个設在船舶上。

4．监督站工作人員的任务包括保証仪器能按标准进行工作，对所获得的材料进行初步研究，并将其提交国际监督組織及监督站所在国的政府，其方式应該取得該国政府的同意。

为了完成上述的任务，每一个监督站需要大約30名各种业务水平及专业的专家，数名事务上的助手。

5．对上述的主要监督网还应附加空气样品的收集工作，这項工作是由飞机来完成的，其普通航綫是沿大西洋与太平洋海岸上空，以及离地面监督站很远的海洋区域上空由北向南。

在发現可疑的类似核爆炸的不能确定之現象，

而必須检查有无放射性之时，根据 II(B) 节第 10 点，組織专門的飞行来获取放射性样品。

6．监督站所发現的現象，若国际监督組織不能确定，或者只能怀疑是核爆炸，国际监督組織应派遣視查組到产生这种現象的地点去确定是否发生了核爆炸．这个組根据在每种个別情况的任务，带有設备与仪器．視查組将其調查結果提交国际监督組織和調查地点所在国的政府，其方式应該取得該国政府的同意．

7．按上述所分布的监督站网，包括前面提到的利用飞机的情况，应具有第 8 和第 9 点中所提出的工作效能：

a) 有很大的可能性来发現和証实发生在地表面和高度 10 公里以下的、威力約为 1 千吨的核爆炸，有很大的可能性来发現，但不能在所有情况下証实发生在 10 到 50 公里高度內的爆炸．在这种情况下，可能要采取 $II^A$, $II^B$, $II^D$ 节中所列举的各个单独方法；

b) 有很大的可能性发現公海深处进行的威力为 1 千吨的核爆炸．在这种情况下，可能要采取 $II^A$ 及 $II^C$ 节中所談到的单独的水声学的及地震的方法．

証实水下爆炸，在比較稀少的情况下，由于自然現象能发出相类似的水声学信号与地震信号而产生困难；

c) 有很大的可能性来記录陸地上深度大的地下核爆炸所发生的地震信号，其威力相当于 1 千吨或更大一些．在这样的情况下可能要采用 $II^C$ 节中所提出的地震方法．

証实深度大的地下核爆炸的問題在第 8 点內叙述．

8．在观察可能的地下爆炸的信号时，监督站最好能同时也記录天然地震所发出的大量类似的信号．虽然就目前所有的知識与技术来說，监督站网或許不能把地下爆炸信号与某些地震信号区別开来，但它可能証实約 90% 的、发出相当于 5 千吨威力的信号的大陸地震的自然过程的現象，以及当量为 1 千吨的大陸地震的很大的百分数*．

据現有材料可以估計，不能与功率为 5 千吨的深度地下核爆炸区別开的地震，根据由它們所引起的地震符号来判断，每年大約为 20 到 100 次．可以作为核爆炸来怀疑的、不能确定的現象，要按第 6 点所叙述的进行視察．

监督制度对威力 1—5 千吨地下核爆炸的証实能力与下列的事項有关：

a) 不太大的地震，它仅仅根据由监督站所获得的資料方可証实；

b) 有一部分地震，它可以用来自現有的地震站的补充資料証实；

c) 一部分可疑的类似核爆炸的不能确定之現象，国际监督組織根据第 6 点的內容对它进行視察．

虽然监督制度可能在获得良好的、詳細的、深藏在地下的核爆炸証实方面会遭遇到巨大的困难，但用視察的方法就一定有可能发現这类破坏协議的行动．

国际监督組織根据第 6 点的內容进行实地視察，也很可能証实威力为 1 千吨或更大一些的水下核爆炸．

9．会議指出，在某些特殊情况下，发現核爆炸的可能性也許会減少，例如，在监督站稀少，气象条件不好的海洋区域进行爆炸时；在不太深的地下进行爆炸时；在地震区域內的島屿上进行爆炸时；以及在某些其它情况下爆炸被严密地隐藏起来时．在某些情况下也許就不可能准确測定被发現的核爆炸所发生的地区．

但会議认为，无論破坏者会采取怎样預防的措施，他也逃不掉被揭露，特別是如果考虑在可疑的爆炸点进行实地視察的时候就更容易被揭穿．

10．上述的监督制度并未包括发現和証实大高度上(超过 30—50 公里)核爆炸的检查方法．关于发現在超过 30—50 公里的高度上进行的核爆炸，会議已經在自己的結論中作了簡明的叙述，并在 $II^E$ 节中已把这些方法闡明．

11．专家会議建議将上述之监督制度交各国政府审查．

---

* 会議指出，为了提高可能被証实的、功率小于 5 千吨的地震的百分比，除监督站的資料外，可以补充利用最好的現有地震站的可靠資料．具有此种目的的这些地震站的观察結果应由国际监督組織来处理，合乎此种要求的地震站的設备可以用最現代化的仪器来装备．

# 簡 訊

**苏联** 在烏克兰科学院物理研究所制成了一种模拟器，它可以对回旋加速器粒子流約为 $10^{-10}$—$10^{-6}$ 安进行积分計算．模拟器的組成如下：安装在束的通道上的积分电离室和根据双級平衡放大器之綫路装配的电流积分器．仪表的精确度达 0.1%．

**苏联** 在苏联科学院物理研究所制成了一种磁力計，它装有透磁合金制的发送器，能够测量加速器內的静力和动力磁場．仪表的测量范围为 0—60 奥斯特，灵敏度为 $(2—3)\times10^{-3}$ 奥斯特．在测量随时間变化的非均匀磁場时，仪表的綫路能够自动地消除磁場改变速度时，由于透磁合金的滞后作用及鉄心渦流場的关系而产生的誤差．

**奧地利** 在国际原子能事业局工作的专家組拟定了包装、运送放射性同位素时的照射安全規范草案．編委会成員包括挪威、巴西、捷克、法国、印度、苏联、美国、日本和大不列顛的专家．专家組的工作总結已在1958年 9 月召开的国际原子能事业局会議上审查完毕．

**英国** “維克尔斯地下电車”公司所属一个新的輻射实驗室的主要装置是能量为 4 兆电子伏的电子直綫加速器．为了提高脉冲束的能量，使用了反饋．脉冲的持續时間为 2 微秒，重复频率为50—500赫芝．由于致偏交变場的作用，束的截面在鋁制小窗以后增大到 $18.5\times305$ 毫米$^2$．束的功率約为 500瓦，它相当于平均电流 125 微安．实驗室內保証服务人員的安全工作．加速器是用来研究輻射对生物机体的影响，研究聚合現象及其它目的．

**英国** 目前在英国进行工作的或建造的有 35 个反应堆，包括研究用的，实驗用的，和动力用的．

**英国** 溫茨凱尔反应堆№1发生了事故，今后将不能再开动运轉，因为增添它的补充設备需要花费50万英磅以上．可以用更便宜的方法从动力堆中获取鈈．已經工作了 7 年的反应堆№2(設計的工作年限为10年)由于重新安装設备不合算也不再开动了．

**英国** 在但涅斯(康德伯爵領地)选择了第五个原子电站的厂址．电站的設計功率为50—55 万 瓩．利用横穿英法海峽的海底电纜将把电站与法国的动力系統联結起来．

**英国** 在核武器研究中心（阿德馬斯頓），使用浓集鈾的零功率堆已开动，用普通水作为它的慢化剂与載热剂．反应堆名叫霍拉斯（HORACE)．它将被用来研究不同位置的活性区和反射层所产生的影响，以及为另一个功率为 500 瓩的研究性反应堆——先鋒（HERALD）——获取資料．后一个反应堆已快建成；它将被用来进行中子研究及获取特殊的同位素．

**英国** 据雷斯里装置上的冶金总工程师格林热尔估計，英国为了制造释热元件的外壳，每年所需要的鈹超过 100 吨．为了同一目的所需要的鋯每年达 50 吨．

**英国** 原子能管理局建造了一个价值 50 万英磅的試驗性装置，是为了从废释热元件中提取放射性鍶和氪．装置的年产量为150万居里．据估計，这个装置在 1958 年开动后，放射性鍶的价格将降低 20 倍．

**阿根廷** 1958 年 5 月底以前，国內登記了 15 个新的产鈾区．其中大部分产鈾区位于安达山脈的高山地带，玻利維亚边界上南緯 22° 与阿根廷大陸部分的南緯 38° 之間．再南一些发現了两个产地：柯莫多罗里瓦达維亚，位于南緯 45° 之旁，再向南，在第賽阿多河沿岸圣克卢斯最丰富的产鈾区是赫由埃穆尔（位于門多薩省），該地年产 7000 吨含 0.35% $U_3O_8$ 的矿石．含 0.7% $U_3O_8$ 的矿石在拉里奥哈省被发現．这些产物的矿石在門多薩和考尔多夫的工厂里进行加工精制．在布宜諾斯艾利斯可开采出氧化鈾，并把它在該地精制成金属鈾（已經获得了 10 吨鈾）．

**比利时** 含鈾矿石被确定在里舍列地区，靠近国界，在东比利时．矿石經化驗証明含有非常多的銅鈾云母．比利时的地質学家認为，这个非工业矿床的产物說明了发現工业鈾矿石的可能性．

**丹麥** 在尤利安涅布区，靠近諾尔沙克，在格陵兰的西南岸确定了与霞石正长岩有关的鈾和釷的矿床．鈾和釷的主要矿物是異性霞石正长岩中所含的異性石．个别部分的平均含鈾量相当于岩石重量的0.01—0.12%，有时可达到 0.2%．釷的含量在 3—4 倍以上．

**加拿大** 根据矿业部的資料，加拿大的鈾矿儲量为三亿三千四百万吨，或換算氧化鈾則为三十四万五千吨．根据估計，在 1956 年底儲量可核算为二亿二千五百万吨矿石及二十三万七千吨氧化鈾．1958 年第一季度內鈾矿石出口达 48876253 美元，

去年同时期的出口为 18755098 美元.

**加拿大** 出售鈾的国家垄断已經取消. 掌握鈾矿山的私营企业有权利向国外出售鈾.

**美国** 1958 年 7 月在白宫签訂了关于两国之間扩大交换原子能情报及材料的美英协議. 协議中規定售与英国潛水艇用的原子发动机, 及其备用的另件以及保証若干年用的核燃料. 規定給与英国关于潛水艇上原子发动机的綫路及該种潛水艇工艺制造和安全工作的情报.

**美国** 制成了中子源-放大器的設計, 該放大器能够代替X射綫与γ射綫医疗癌症. 在癌症医疗中利用中子是比較合适的, 因为中子对皮肤的破坏較輕, 并且具有更强的穿透能力与更大的生物效率. 目前最适当的中子源是核反应堆, 但把它放置在医疗机关是不适宜的. 在名叫康維尔加特龙 (Конвертрон) 的中子放大器內可以消除不可控制的中子流强度的增长——在用中子进行工作时的最危险的作用. 設計中的放大器內不会发生鏈式反应. 該装置可以使我們在利用 X 射綫的場合利用中子.

**美国** 在第尤克大学制成了在溫度約—260°C 进行工作的, 带液态氦的气泡室. 利用該室可以研究高能粒子与氦核的相互作用.

**美国** 制成了新的半导体的 Варистор, 在电压改变从 20 到 120 伏时, 在 1% 限度內它可保持 1 毫安的电流. Варистор 是用鍺或硅制成的, 带有扩散通路. 經过 Варистор 的电流随电压的增长而增长到与飽和电流相应的值. 电压継續增长到所要求的数值并不引起电流的增长. Варистор 可以当作电压变动的电路上的电流稳定器来使用, 也可以当作电流限制器和脉冲形成器来使用. 此外, Варистор 所特有的阻抗与直流电阻的高比率, 使它可能被当作联結扼流圈和配电設备来使用.

**美国** 在橡树岭开动了热功率 2 万瓩的非均匀型研究性反应堆 (橡树岭研究性反应堆 ORR). 反应堆的价值約 5 百万美元. 作为慢化剂和載热剂的是脫矿物的水. 活性区是由包有鋁壳的鈾-鋁合金制成的释热元件构成的, 并装有鈹制反射层. 中子流的平均强度大于 $10^{14}$ 中子/平方厘米秒. 反应堆用于进行基本的和工程上的試驗. 由于技术上的改善, 它所給出的强中子流要比以前所建的同样类型的原子堆所給出的便宜得多. 活性区位于直径 1.5 米, 高 4.5 米的圓柱形容器內, 容器放在长 6.3 米, 寬 3 米, 深 8.4 米的水池內.

**美国** 根据原子能委員会的資料, 供动力实驗用的 (实驗性沸水动力反应堆) 研究性均匀水堆証明, 在不到一秒的时間內提高热功率从 0 到 53 万瓩时, 反应堆可以不受任何破坏而自动停堆. 反应堆的特点是: 在正常的工作情况被破坏时它不需要开动控制棒, 而能自动停堆. 这时, 燃料溶液的溫度昇高不大. 反应堆的內壳中在 1/1000 秒的时間內能够形成适当的压力. 溶液內所形成的气体瞬息間会将燃料推到过剩燃料的接收室, 这样就制止反应堆功率的上昇.

**美国** "原子国际"公司为原子能委員会設計和制成了一种自动装置, 它可以在反应堆控制失效时停堆, 从而保証了大功率研究性反应堆的工作安全. 这种設备保証游泳池式反应堆在正常工作条件遭到破坏时, 能得到絕对的防护. 其工作原理是吹入气态三氟化硼. 設备在爱达荷州特殊的大功率脉冲实驗性反应堆(特殊的交通用的动力試驗堆)上試驗成功. 在試驗过程中, 当工作情况轉換急剧, 功率增长速度每百分之一秒为三倍时, 設备能够制止功率过分的增长. 功率的脉冲保持在減少二十五分之一的水平, 而反应堆所产生的全部能量与不带保险装置时所产生的能量相比要減少到十分之一以下.

**美国** 美国綠宝石公司宣布在加里福尼亚州生产率每昼夜 100 吨的选矿装置已經开动. 提取綠宝石是用机械方法, 而以前是用手选的.

**美国** 原子能委員会取消了用鈾制造陶器、玻璃、照相底片及其它物品的禁令. 委員会允許按下述之价格不受任何限制出售 $UF_6$ 状态的貧化鈾. 含有鈾-235: 0.0036 或少一些的——每公斤 5.00 美元; 0.0040 的—8.15 美元; 0.0050 的—16.65 美元; 0.0060 的—26.90 美元; 0.0066 的—33.50 美元; 0.0070 的—38.15 美元.

**美国** 1958 年 6 个月內在美国开采的鈾矿石大約为 250 万吨, 1957 年同时期所开采的为 200 万吨. 从加拿大入口的 $U_3O_8$ 相应的由 5730 吨降为 3850 吨.

**美国** 根据已公布的从 1943 年到 1955 年美国原子能工业工人的不幸事故和患病率的簡单綜合統計, 在这类工业中登記了 148 件死亡事故, 其中仅有 2 件与照射有关. 所登記的与照射有关的不幸事件总数为 16 件, 遭受伤害者 69 人. 在最近的九年当中(截至 1956 年 1 月 1 日)有 99.4% 的工人所受的照射不超过 5 倫/年, 仅有 0.01% 的工人或者說 19 人所受的照射超过 15 倫/年 (不包括在事故时間遭受到一次照射的69人).

最近九年来, 平均最高的个人剂量为 16.4 倫/年, 最高的一年 (1954 年) 为 27.8 倫. 在上述之九

年当中，每年超过 3 倫的有 237 人，其中 98 人是在試驗核武器时遭到照射的.

上述之数字是来自剂量检查材料. 在这些人員当中并未发現任何病理現象. 在登記中鈾中毒的事件一樁也沒有.

**美国** 制成了为原子能企业中的工作人員消除鞋子上放射性沾污的超声速水池. 池內水层为 3—5 厘米，它受到池底变流器发出的超声速振盪的作用. 由于这种作用而将放射性物質从鞋子上排除掉.

**美国** 在美尼苏达州大学正在使用唯一的万用輻射 $\gamma$ 装置. 装置具有水防护、寬敞的实驗室及热室的一切优点. 装置的厂房面积为 305×412 厘米，高 305 厘米，有厚 122 厘米的混凝土墙和頂盖. 厂房的观察窗（厚 91.5 厘米）与机械手安装在同一面墙上. 走进热室要經过曲綫形的隧道，沿着隧道可以容易地运送体积大的物件. 热室的天花板有混凝土制的小門，从那里可以把运輸容器送进来. 放射性为 2000 居里的放射源（$Co^{60}$）装在直径 152.5 厘米，深 520 厘米的水池內，用遙控昇降机运送. 放入装置內的輻射源做成鉛笔状（10 个，每个 200 居里），长 100 厘米，也可以采用另一种形式的源. 样品輻射的最大剂量超过 $10^6$ 倫/小时.

**美国** 美国矿业局所属的一个实驗室（奥瑞根州的奥尔百尼）制成了高純度的鉻条. 将其截为长 2.5 毫米，厚 0.8 毫米不大的断片，放入反应堆中受中子照射，则变为放射性的. 将这些断片插入癌瘤，癌瘤就可以受到 $\gamma$ 射綫的照射.

放射性 $Cr^{51}$ 已經在試驗用的动物身上应用了. 研究結果指明，这种新方法对医疗人們的癌症来說是有效的.

**美国** 原子能委員会宣佈，有一家私营公司将受委託設計，制造和試驗高强度的食品輻照器（HI-FI）. 輻照器內将装載 $Co^{60}$，其数量超过目前在美国应用的全部 $Co^{60}$ 的数量. 装置是美軍后勤部用来进行防止食品变質的科学研究工作的.

**芬蘭** 展覽性实驗反应堆已經建成，鈾棒及上部鋁結构是从英国买来的，石墨反射层則购自美国.

**西德** "戴古沙"公司（国內貴重金属的主要生产者）已經开始在靠近干諾的"原子城"烏尔夫干格的工业实驗性装置上进行鈾及其它核金属的經常性生产. 目前公司正在为卡尔斯路埃的实驗性反应堆生产約 10 吨的金属鈾（当装置的年效率約为 20 吨时）. 鈾的浓集物是从加拿大入口的. 烏尔夫干格也生产二氧化鈾，釷以及含少量鉿的鋯. "戴古沙"制造了生产純金属鈾的装置与設备. 此种装置及其个別部件已經向印度、西班牙、阿根廷、意大利、瑞典及其它国家出售.

**西德** 在离埃尔維列尔不远的地方正进行建設的鈾矿石加工工厂将生产 $U_3O_8$ 的干浓集物. 該厂每天可加工 50 吨矿石. 該厂鈾的年产量約为 12 吨. 工厂建立在离矿山数公里远的地方，外来的矿石也将在該厂加工. 进一步的純化与加工将在別的企业中进行.

**瑞典** 在瑞典中心，距厄斯特松特东面 10—12 公里的許多不大的，在过去开采过生鉄的矿山里找到了与鉄矿的矽嘎岩联在一起的鈾矿石. 矿渣堆所含的氧化鈾达 0.27%.

# 書 刊 介 紹

## 关于鈉鉀合金热容値中的一个錯誤

由于目前大家对采用液态金属作載热剂的問題都很感兴趣，通晓其性质就具有现实的意义。因而很自然地，作者就把液态金属的性质，特别是鈉与鉀合金的性质载入文章作为参考。在瓦尔加弗奇克（Н. Б. Варгафтик）主編的"物质的热物理性质"* 和契切金（А. В. Чечеткин）主編的"高溫載热剂"** 书籍中都引証了由勒伊恩[1]（Лайон）主編的"液态金属手册"中摘下的鈉与鉀合金的性质。

但是在手册的第一版中，在液态金属性质表中有印錯的地方，含 22% Na 和 78% K 成分的合金性质誤印入含 56% Na 和 44%K 的合金中以及反过来含56% Na 和 44% K 的合金性质印入含 22% Na 和 78%K 的合金中。通过熔点、比重及文章中[2]—[4]所引証的其它鈉鉀合金的性质比較就不难論証这一点。在第二版和第三版"液态金属手册"中已修改了这个錯誤，而在瓦尔加弗奇克和契切金的著作内仍未修改。如果在"物质的热物理性质"一书中仅是表印錯了，則在契切金一书中就会得出一个很不正确結論，即根据迭加性規律可适用于鈉鉀合金的热容量，而实驗和計算之数据不能一致（141 頁）。迭加法所得到之鈉鉀合金热容量計算値和实驗数値是符合的，这一点就証实了对硷性金属合金的热容量来說，这一規律也是正确的。下列之表是根据[4]和[5]的实驗工作数据所制成的。

鈉、鉀及其合金的热容量

| T,°C | Na | K | 22%Na, 78%K (推算出的) | 22%Na, 78%K (实驗的) | 56%Na, 44%K (推算出的) | 56%Na, 44%K (实驗的) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 0.329 | 0.194 | 0.224 | 0.225 | 0.269 | 0.269 |
| 200 | 0.320 | 0.189 | 0.218 | 0.217 | 0.262 | 0.261 |
| 300 | 0.312 | 0.185 | 0.213 | 0.212 | 0.256 | 0.255 |
| 400 | 0.306 | 0.183 | 0.210 | 0.210 | 0.252 | 0.251 |
| 500 | 0.302 | 0.182 | 0.208 | 0.209 | 0.249 | 0.249 |
| 600 | 0.300 | 0.183 | 0.209 | 0.209 | 0.248 | 0.248 |
| 700 | 0.300 | 0.185 | 0.210 | 0.211 | 0.249 | 0.250 |
| 800 | 0.303 | 0.188 | 0.213 | 0.213 | 0.252 | 0.253 |

基里洛夫（П. Л. Кириллов），特罗揚諾夫（М. Ф. Троянов）

### 参 考 文 献


[1] Liquid Metals Handbook, Ed. R. Lyon, 1 ed., Washington, 1950.

[2] Liquid Metals Handbook, Ed. R. Lyon, 2 ed., 1952.

[3] Liquid Metals Handbook, Ed. Jackson, 3 ed., 1955.

[4] D. C. Ginnings et al: *J. Res. Nat. Bur. Standards* 45, 1, 23, (1950).

[5] T. B. Douglas et al.: *J. Amer. Chem. Soc.* 74, 10, 2472 (1952).


* Теплофизические свойства веществ. 瓦尔加弗奇克教授主編之手册。国家动力出版社。М.—Л., 1956, 367 頁。

** 契切金 Высокотемпературные Теплоносители. 国家动力出版社。М.—Л., 1957, 168頁。

# 最 新 文 献

## 書籍,論文集和杂誌

**和平利用原子能国际会議的材料** 14 冊. 关于放射性同位素利用方面的一般問題;剂量学. 国立技术出版社,1958 年,共 367 頁. 卷内包括放射性同位素利用的一般問題以及放射性同位素的生产,分离及运用問題的报告和問題討論. 以很大篇幅刊登了放射性輻射的测量方法以及新近制造的剂量仪和記录仪器,包括中子剂量学,放射性輻射剂量的絕对測定和弱射綫的記录等.

**电离輻射对无机和有机系的作用** 論文集. 責任編輯,普舍日斯基 (С. Я. Пшежецкий). 苏联科学院出版社,1958 年,共 416 頁. 論文集包括輻射化学各种問題的論文,并分五个部分: "水溶液中的反应和輻射电化学过程", "无机物的反应", "有机物的反应", "輻射对聚合物的作用", "实驗方法".

**第一届全苏輻射化学会議的著作** (1957 年 3 月 25—30 日). 苏联科学院出版社,1958 年,共 330 頁. 論文集包括会議上所听取之报告,共有下列部分: "輻射化学过程中的最初作用", "水溶液的輻射化学", "輻射电化学过程", "射綫对参与生物过程的物质的作用", "单体有机系的輻射化学", "輻射对聚合物的作用", "輻射源".

謝沃斯契揚諾夫 (А. Г. Севостьянов). **放射性輻射在紡織业中检查,調整和研究方面的应用.** 涅曼 (М. Б. Нейман) 主編. 国立輕工业出版社,1958 年,共 58 頁. 在小冊子中綜合并分类了文献內現有的关于紡織业中放射性輻射应用問題的材料.

卡岡諾維奇 (С. Я. Каганович). **某些国家中鋯的生产及应用.** 米洛万諾夫 (Г. Н. Милованов) 主編. 全苏工程技术科学研究所 (ВИНИТИ). 1957 年,共 48 頁. 在小冊子中概述了外国鋯的开采生产和应用方面的外国科学技术文献. 其中也登載了鋯的矿物原料資源和生产,工业应用鋯和鋯化合物的发展方向.

**現代物理学問題** 外国定期文献的譯文及評論文章. 論文集 № 4 (1958). 外国文献出版社,共 150 頁. 論文集包括四部分: "費米 (Fermi) 相互作用理論" [芬曼 (Р. Фейнман), 蓋尔·曼 (М. Гелл-Манн)], "超子和重介子" [蓋尔·曼和罗傑費特 (А. Розенфельд)], "强聚焦同步加速器理論" [庫兰特 (Е. Курант) 和斯納德尔 (Х. Снайдер)], "潛象的性質及形成" [米切里 (Д. Ж. Митчели) 和莫特 (Н. Мотт)].

**外国原子技术** (翻譯材料月刊論文集) № 6, 1958. 原子能出版社,共 78 頁.

論文集包括下列文章: 生产工业用热的原子核反应堆 (Nucleonics 16, № 2, 62, 1958); 考費曼 (И. Ф. Кауфман) 和斯求阿尔特 (Д. Г. Стюарт) 美国原子能委員会 (КАЭ) 利用反应堆生产工业用蒸汽的规划 (Nucleonics 16, № 2, 65, 1958); 麦伊尔 (К. М. Майер), 从反应堆获取的工业用热量銷售市場 (Nucleonics 16, № 2, 66, 1958); 彼拉契赫 (Г. Перацих), 紙浆工业中应用反应堆所生产的热的可能性問題 (Nucleonics 16, № 2, 68, 1958); 生产热能造价低的反应堆 (Nucleonics 16, № 2, 69, 1958); 欧洲生产热能的反应堆的建造 (Nucleonics 16, № 2, 70, 1958); 法列士 (Ф. Э. Фарис) SRE 型实驗性石墨鈉反应堆,开动和运轉 (Nucleonics 15, № 12, 37, 1957); 格魯別尔 (А. Р. Грубер) 材料試驗反应堆結构中的新成就 (4th Annual Conf. of. Atomic Industr. Forum, October 28, 1957, New York, Paper. № 57 AIF—34); 尼利遜 (К. О. Нилсон) 斯基布萊特 (О. Скилбрейд). 哥本哈根的分离同位素用的电磁装置 (Nucl. Instruments 2, № 1, 15, 1958); 弗連斯德尔 (Дж. Форрестер) 混凝土的 γ 射綫照象学 (Engineer February. 314, 1958), 斯密特 (Т. В. Смит) 和法涅罗 (Д. Р. Фармело) γ 源及其輻射能量的类别 (Nucleonics 16, № 2, 80, 1958); 尤別尔 (П. Юбер) 法国可控制热核反应的研究 (Atomics and Nucl. Energy 9, № 3, 86, 1958); 彼尔曼 (Л. Бирман) 德意志联邦共和国热核反应的研究 (Atomics and Nucl, Energy 9, № 3, 89, 1958); 罗斯 (Б. Д. Росс) 未来火箭的能源 (Machine Design, January 9. 1958, p. 28). 簡訊.

**外国原子技术** № 7, 1958 年,原子能出版社,共 78 頁.

論文集包括下列文章: 麦列茲 (Ж. Б. Мелез) 新的法国研究性反应堆 EL-3 (Nucl. Engng 3, № 24, 115, 1958); 达文 (Х. Г. Дэви), 卡德尔霍尔 "A" 电站的开动与运轉 (Brit, Nucl. Energy Conf Symposium on Nucl Energy. January 21 1958,

p. 2)；航空事业中的反应堆（原子核技术評論文章）(Engineering, February 28, 1958)；尼克赫士（К. М. Никхолс）由原子核反应堆的释热元件中工业分离鈈的布德科斯（Бутекс）一过程的研究（Brit. Nucl. Energy. Conf., Symposium on Nucl. Energy, January 21, 1958, p. 12)；尼克赫士，哲里逊（А. Х. К. П. Джиллисон），分裂物质再处理时的临界性（Brit. Nucl. Energy Conf., Symposium on Nucl. Energy, January 21, 1958, p. 37)；凱洛尔（Дж. Г. Кэролл），波尔特（Р. О. Болт），貝尔特（Дж. А. Берт），碳氢化合物燃料輻射稳定性的研究（Aeronaut. Engng Rev. 17, № 3, 61, 1958)；格洛維尔（Ж. Р. Гровер）长寿命的分裂产物的排除（J. Brit. Nucl. Energy Conf. 3. № 1, 180, 1958)；伊波里托（Ф. Ипполито），意大利原子能方面的研究工作規划（Nucl. Engng 3, № 25 1958)；柯連（К. Корен），莫德尔（С. Модел），医学应用X射綫时性腺所受的輻射剂量（Acta radiol. 48, October 1957）.

**外国原子技术** № 8. 1958年，共76頁. 論文集包括下列譯文：卡馬科（В. Г. Камак），列皮尔特（Г. Лепперт），蒸发冷却反应堆（Nucl. Engng and Sci. Conf., 1958, Chicago)；斯才克里（Т. Сцекли）飞机发动机用不封閉循环反应堆的装置（Nucl. Engng and Sci. Conf., 1958, Chicago)；巴索西（Т. И. Пашос）和巴斯（Х. Н. Басс）照射設备的大型另件和部件用的反应堆（Nucl. Eng and Sci. Conf., 1958, Chicago)；麦盖弗（С. И. Мегеф）等人，实驗性增殖反应堆 EBR—11 蜂巢組織式（Вафельный）释热元件的制造（Nucl. Engng and Sci. Conf., 1958, Chicago)；貢爱格尔（У. Гоннэгл）反应堆零件的輻射照相法及其它試驗方法（Nucleonics 15, № 10, 78 1957)；克拉因（Г. Н.Клайн）等人，在輻照过的有机物质中材料的动力腐蝕試驗（Nucl. Engng and Sci. Conf., 1958, Chicago)；德斯列尔（О. Теслер），魯傑尔弗特（Г. Рузерфорд）原子核輻射对纖維素及其衍生物的影响（Nucl. Engng and Sci. 1958, Chicago)；工业方面的輻射（Nucl. Power 2, № 20, 492, 1957）. 簡訊.

**外国原子技术** № 9. 1958年，共70頁. 論文集包括下列譯文：薩蒙（А. Саймон），留斯（Льюс）点火綫路：热核装置中的連續噴射作用（Nucl. Engng 3, № 27, 259, 1958)；两用的反应堆（Nucleonics, № 5, 104, 1958)；气冷反应堆的远景（Nucleonics 16, № 5, 102, 1958)；高洛索維契（С. Голосович）等人，沸騰式反应堆 EBWR 載热剂迴路的放射性（Nucleonics 16, № 5, 94, 1958)；布林蓋尔（С. Ф. Буллингер）和卡尼（В. Дж. Канн），反应堆 EBWR 調整棒的传动机械（Nucl. Sci. and Engng, № 4, 379, 1958)；鮑林克（К. Л. Боринг）等人，迴旋加速器的粒子束磁聚焦和分析系統（Nucl. Engng and Sci. Conf., 1958, Chicago)；吉德尔（Дж. Китель），波茵（С. Пейн），深燃耗时輻射对天然鈾的作用（Nucl. and Engng, № 3, 250, 1958)；考迭尔（М. Дж. Коттер）利用超声波检查焊縫的質量（Atomics and Nucl. Energy, № 4, 115, 1958)；克金格（Дж. В. Коддинг）等人，三丁基磷酸盐-碳氢化合物系的主要均衡数据（Industr. and Engng Chem. 50, № 2, 1958）.

Ellinger F., **Medical Radiation Biology.** Thomas, Springfield I 11.; Blackwell, London; Ryerson, Toronto, 1957（医学放射生物学）.

本书是关于射綫病和放射性医疗的生物原理. 它包括四部分：1）放射性生物学的基础，2）电离輻射的生物作用，3）紫外綫輻射的生物作用，4）光輻射的生物作用. 該书适合放射生物界的放射医疗医生和专家用.

Faires R. A. and Parkes B. H., **Radioisotope Laboratory Techniques**, 1958, London（涉及放射性同位素实驗室工作的方法）.

书包括四部分，即 1）原子核物理的基础，同位素的生产，放射生物防护方法的敍述；2）实驗室的設备，防护安全，放射性废料的埋葬；3）尋找和測量方法（包括統計法和仪器的选择）；4）同位素处理技术，其应用与操作設备. 书中还有許多适用的附录.

此书供利用放射性指示剂的工业和科学研究实驗室的工作人員用.

Leck J. H., **Pressure Measurement in Vacuum Systems**, 1957, 144 p. The Institute of Physics, London（眞空系統內压力的測量）.

书內討論了从几毫米至 $10^{-3}$ 毫米水銀柱絕对压力的現代測量方法. 第一章是关于机械压力計（馬克-略德 Мак—Леода 流体和流量孔板式压力計）. 第二章敍述了据导热性測量的压力計（皮拉尼和热电偶压力計）. 第三章闡述了游离压力計（有热阴极，冷阴极—卞宁克 Пеннинг，阿尔法特倫 Альфатрон 等型）及其电路系統. 第四章是克努謝（Кнудсен）压力計各种方案的說明和理論. 压力計的讀数与气体成分无关. 在簡短的第五章內商討了最引人注意的表面反应的利用，利用表面反应可以研

究低于 $10^{-6}$ 毫米水銀柱压力的測定方法. 最后的第六章是关于压力計的校准問題.

本书可作为測量眞空系統內压力的手冊(理論, 实践和問題).

**Reactor Core Material.** A Review of Recent Developments in Solid Materials for Reactor Core, v. 1, № 1. BM—1, Govern. Print. Office. AEC USA, 1958. 反应堆心 (活性区) 的材料 (反应堆活性区材料的最新成就的評論, 1 版, 1 冊). 季刊.

Hughes D. J. **Neutron Cross Sections.** Pergamon Press, London and New York, 1957(中子截面).

Lawrence J. H., Tobias C. A. **Advances in Biological and Medical Physics,** v. 5. Academic Press, New York, 1957 (生物和医学物理中的成就).

Neary G. J. et al. **Chronic Radiation Hazards. An Experimental Study with Fast Neutrons.** Pergamon Press, New York and London, 1957 (慢性射綫病. 快中子的实驗研究).

## 期 刊 文 献

Аничков С. В. Применение метода меченых атомов в изучении дистрофических и токсикологических процессов. Вест. Акад. мед. наук СССР № 7 (1958).

Бреслав В. И. Качественный анализ смеси радиоактивных изотопов по периодам полураспада. Тр. Ин-та физики АН Латв. ССР № 10 (1957).

Гаврик В. Я. Номограмма для расчета количества радиоактивных изотопов. Тр. Ин-та физики АН Латв. ССР № 10 (1957).

Доливо-Добровольский Л. Б., Завельский Ф. С. К вопросу о содержании радиоактивного калия в городских сточных водах. Мед. радиология № 3 (1958).

Ермаков В. С. Измерение нейтронного потока в ядерных реакторах. Инж.-физ. журнал, т. I, № 2 (1958).

Жуховицкий А. А. и Соцков А. Д. О применении радиоактивных индикаторов при изучении реактивной диффузии металлов. Научн. доклады высш. школы. Металлургия № 1 (1958).

Зельвенский Я. Д. и др. Использование радиоактивного изотопа серы для изучения процессов образования агрессивной среды в компрессорах и газопроводах. Газ. пром-сть № 5 (1958).

Зельвенский Я. Д. и др. Разделение изотопов ректификацией. Ректификация метанола. Научн. доклады высшей школы. Химия и хим. технология № 2 (1958).

Инопин Е. В. Рассеяние нейтронов несферическими ядрами. ЖЭТФ т. 34, вып. 6 (1958).

Карсуэлл Д. и др. Извлечение тория-230 из отходов от переработки урановых руд. Химия и хим. технология № 5 (1958).

Киселев М. И., Цепляев В. И. Наклонные ударные волны в плазме с конечной проводимостью. ЖЭТФ т. 34, вып. 6 (1958).

Красильников Н. А. и др. Аккумуляция естественно-радиоактивных элементов почвенными микроорганизмами. ДАН СССР т. 120, № 5 (1958).

Кротов И. В. Применение радиоактивных изотопов в исследовании процессов коррозии и пассивирования металлов. Успехи химии т. XXVII, вып. 5 (1958).

Кудрявцев В. С. Энергетическая диффузия быстрых ионов в равновесной плазме, ЖЭТФ т. 34, вып. 6 (1958).

Лаврухина А. К. Современное состояние ядерной химии. Успехи химии т. XXVII, вып. 5 (1958).

Лосев Н. Ф. и Глотова А. Н. Количественное определение циркония в рудах с помощью рентгеновских спектров флуоресценции. Заводск. лаборатория т. 24, № 5 (1958).

Малкин В. И. Совещание по применению радиоактивных изотопов в черной металлургии. Заводск. лаборатория т. 24, № 6 (1958).

Маргулова Т. Х. Некоторые вопросы водного режима парогенераторов атомных электростанций. Научн. доклады высш. школы. Энергетика № 1 (1958).

Мартин Ф., Хупер Е. Распределение плутония и продуктов деления между расплавленным ураном и расплавленными смесями трифторида урана и галогенидов бария. Химия и хим. технология № 5 (1958).

Найденов Б. М. и Чердынцев В. В. Изменение изотопного состава свинца при выделении из природных минералов. Изв. АН СССР. Серия геол. № 5 (1958).

Павлоцкая Ф. И., Лаврухина А. К. Продукты деления урана протонами с энергией 660 *MeV* в области редкоземельных элементов ЖЭТФ т. 34, вып. 5 (1958).

Пигалев И. А. Действие радиоактивного стронция на организм (обзор). Мед. радиология № 3 (1958).

Роддатис К. Ф. Энергетические ресурсы и получение электроэнергии за счет ядерного горючего. Теплоэнергетика № 6 (1958).

Спитцер Л. мл. Коллективные процессы в горячей плазме. УФН т. LXV, вып. 2 (1958).

Тарасова З. Н. и др. Вулканизация под воздействием ядерных излучений. Каучук и резина № 5 (1958).

Тоунманн П. К. и др. Получение высоких температур и ядерных реакций в газовом разряде. УФН т. LXV, вып. 2 (1958).

Туркин В. К. О расчете каскадов, служащих для разделения стабильных изотопов. Научн. доклады высш. школы. Химия и хим. технология, № 2 (1958).

Уорнер Б. Изготовление источников $Cs^{137}$ интенсивностью в килокюри. Химия и хим. технология № 6 (1958).

Шехтман Я. Л. и др. Закон взаимозаместимости при биологическом действии быстрых электронов. Биофизика т. 3, вып. 3 (1958).

Akcasu Z. Nucl. Sci. and Engng, 3, 4, 456 (1958). Общее решение уравнений реакторной кинетики без обратной связи.

Amphlett C. B. et al. J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 220 (1958). Синтетические неорганические ионообменные материалы.—I. Фосфат циркония.

Amphlett C. B. et al. J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 236 (1958). Синтетические неорганические ионообменные материалы.—II. Безводная окись циркония и другие окиси.

Anders E. Phys. Rev. **110**, 2, 427 (1958). Сечение активации нейтронами для технеция-98.

Andersen S. L. et al. Nucl. Phys. **7**, 4, 384 (1958). Пучки частиц различной массы в электростатических ускорителях.

Arnold W. H. Jr. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 296 (1958). Эффективность черных регулирующих стержней.

Ashton F. et al. Nuovo Cimento VIII, **4**, 615 (1958). Использование сигнальных неоновых лампочек для точного определения траекторий частиц.

Bickerton R. I., London H. Proc. Phys. Soc. 72, 463, 116 (1958). Численные законы для стабилизированного сжимающегося разряда.

Bullinger C. F., Kann W. J. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 379 (1958). Механизм привода управляющих стержней реактора EBWR.

Burgman J. O., Anderson G. Nucl. Instruments **3**, 1, 32 (1958). Ионный источник для разделения радиоизотопов.

Carnall W. T. et al. J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 213 (1958). Адсорбционный спектр водного раствора кюрия III.

Corbett J. D., Seabangh P. X. J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 207 (1958). Приготовление иодидов ниобия III и IV.

Cuninghame J. G. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 181 (1958). Дальнейшее измерение выходов деления при спонтанном делении $Cf^{252}$.

Dayton I. E., Pettus W. G. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 286 (1958). Эффективный резонансный интеграл тория и окиси тория.

Drucker E. E., Wallace W. D. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 215 (1958). Определение мошности реактора по активности теплоносителя.

Drummond J. E. Phys. Rev. **110**, 2, 293 (1958). Основные микроволновые свойства горячей магнитной плазмы.

Ellis J. E. and Johnson K. D. B. J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 194 (1958). Фториды урана.—I. Равновесие жидкость—пар в системах гексафторид урана—трифторид хлора и гексафторид урана—пентафторид хлора.

Elleis J. F. et al. J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 199 (1958). Фториды урана.—II. Дистилляция смесей агрессивных летучих фторидов, содержащихся в гексафториде урана.

Fritsch A. R. and Hollander J. M. J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 165 (1958). Излучения, возникающие при распаде $Bi^{208}$, $Bi^{204}$, $Pb^{204m}$ и $Bi^{205}$.

Gelbard E. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 468 (1958). Иперационный метод решения $P_l$-уравнений для блочковой геометрии.

Ghormley J. A. J. Nucl. Energy **6**, 4, 300 (1958). Образование пузырьков в перегретых водных растворах быстрыми частицами.

Gordon R. B. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 232 (1958). Металлургические проблемы изготовления топливных элементов в циркониевой оболочке для водяных реакторов под давлением.

Greebler P. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 445 (1958). Вычисления эффективности регулирующих стержней для определения реактивности и распределения мощности.

Halperin J., Blomeke J. O. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 395 (1958). Эффективные сечения для реакторных нейтронов в топливных элементах реактора MTR.

Hofmann P. L., Storm M. L. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 313 (1958). Двухмерный $(r, z)$ многогрупповой расчет реактора нулевой мощности на промежуточных нейтронах.

Hwa R. C. Phys. Rev. **110**, 2, 307, (1958). Влияние электрон-электронных взаимодействий на циклотронный резонанс в газообразной плазме.

Kittel J. H., Paine S. H. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 250 (1958). Влияние глубокого выгорания на естественный уран.

Klahr C. N. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 269 (1958). Вычисление распределения нейтронов методами стохостических процессов.

Klein P. et al. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 403 (1958). Измерения коэффициента теплового использования, вероятности избежать резонансного захвата и эффекта размножения на быстрых нейтронах в решетках слабообогащенного урана и окиси урана с водяным замедлителем.

Kruskal M., Tuck J. L. Proc. Roy. Soc. A. **245**, 1241, 222 (1958). Нестабильность сжимающегося разряда в продольном магнитном поле.

Melkonian E. et al. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 435 (1958). Изучение полного сечения и сечения деления $U^{235}$ с помощью спектрометра медленных нейтронов.

Merrill J. J., DuMond J. W. U. Phys. Rev. **110**, 1, 79 (1958). Точное измерение спектра LX-лучей

урана и плутония.

Moore M. N. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 387 (1958). Определение переходных характеристик реактора из измерений в стационарном режиме.

Persico E., Linhard J. G. Nuovo Cimento VIII, 5, 740 (1958). Потери плазмы из магнитных ловушек.

Potter R. J. Nucl. Energy **6**, 4, 291 (1958). Переходные процессы при разгоне реактора.

Reier M. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 374 (1958). Возраст нейтронов полоний-борного источника в воде.

Reynolds M. B. Nucl. Sci. and Engng **3**, 4, 428 (1958). Поведения газа осколков деления в системе уран—алюминий.

Stein W. E., Whetstone S. L. Phys. Rev. **110**, 2, 476 (1958). Эмиссия мгновенных нейтронов при спонтанном делении $Cf^{252}$.

Stuart G. W., Woodruff R. W. Nucl. Sci. and Engng **3**, 3, 339 (1958). Метод последовательных соударений.

Tuck D. G., J. Inorg. and Nucl. Chem. **6**, 3, 252 (1958). Свойства неорганических соединений в органических растворителях.—I. Гидролиз и полимеризация нитратов четырехвалентного плутония в диэтиленгликольдибутиловом эфире.

Vandenbosch R., Seaborg G. T. Phys. Rev. **110**, 2, 507 (1958). Соображения о вероятности ядерного деления.

Weil J. L., Jones K. W. Phys. Rev. **110**, 2, 466 (1958). Полные нейтронные сечения Mg, Al, Fe, Cu, Zn, Mo, Pb при $E_n$ от 4 до 8 *Мэв*.



## 本 刊 启 事

“原子能”編委会所編“原子能譯丛”第四期热中子核反应堆理論一书原由苏联物理数学博士加拉宁(А. Д. Галанин)所著,示水翻譯. 因排印疏忽,漏登著譯者姓名,特此深表歉意.

“原子能”編委会<br>科学出版社 同啓

**原子能**（月刊）

| | |
|---|---|
| 編輯者 | 中国物理学会<br>'原子能'編輯委員会<br>（北京邮箱287号） |
| 出版者 | 科学出版社 |
| 印刷者 | 中国科学院印刷厂 |
| 总发行处 | 邮电部北京邮局 |
| 訂購处 | 全国各地邮局 |
| 代訂代銷处 | 全国各地新华书店 |

（京）1—3,350　　1959年2月27日出版

定价：1.10元

本刊代号：2—212